

УДК 617.713-007.64

DOI: 10.34215/1609-1175-2022-3-13-18



Кератоконус: современные диагностические аспекты и вопросы классификации

Д.О. Бобкова

Приморский центр микрохирургии глаза, Владивосток, Россия

Кератоконус (КК) – прогрессирующее невоспалительное эктатическое заболевание роговицы, характеризующееся ее истончением, формированием конического выпячивания и развитием нерегулярного астигматизма с различной степенью нарушения зрения. Представлен литературный обзор по эпидемиологии, классификации и диагностике заболевания. В настоящее время в клинической практике чаще всего применяются классификации «ABCD» М. Веллина и М. Амслера в вариации Крумеиха. Диагностика КК нуждается в комплексном подходе по результатам различных методов исследования. Метод Шаймпфлюг-визуализации с оценкой биохимических свойств роговицы проводится на кератотомографе Pentacam Oculus в сочетании с прибором Corvis ST. Результат исследования выражается в виде диагностических индексов: CBI (Corvis Biomechanical Index), BAD-D (Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia Index total deviation), TBI (Tomographic Biomechanical Index). Применение оптической когерентной томографии необходимо для оценки карты толщины эпителия роговицы и проведения пахиметрии для исключения скрытого истончения стромы.

Ключевые слова: кератоконус, субклиническая форма, форма Фрусте, роговица, эктазия

Поступила в редакцию 30.03.2022. Получена после доработки 12.04.2022. Принята к печати 30.05.2022

Для цитирования: Бобкова Д.О. Кератоконус: современные диагностические аспекты и вопросы классификации. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2022;3:13–18. doi: 10.34215/1609-1175-2022-3-13-18

Для корреспонденции: Бобкова Диана Олеговна – врач-офтальмолог диагностического отделения Приморского центра микрохирургии глаза (690088, г. Владивосток, ул. Борисенко, 100Е); ORCID: 0000-0002-8178-8949; тел.: +7 (967) 530-13-30; e-mail: dusha.9494@mail.ru

Keratoconus: current aspects of diagnosis and classification

D.O. Bobkova

Primorsky Center of Eye Microsurgery, Vladivostok, Russia

Keratoconus (KC) is a progressive non-inflammatory ectatic corneal disease typified by corneal thinning and conical protrusion, as well as irregular astigmatism with a varying-degree visual impairment. A literature review on the disease epidemiology, classification and diagnosis is presented. Current clinical practice most commonly relies on the Krumeich's adaptation of ABCD grading system by M. Belin and M. Amsler. The KC diagnosis requires a comprehensive approach that integrates a variety of methods. Scheimpflug imaging with the corneal biochemistry assessment is performed with a Pentacam Oculus keratotomograph in combination with a Corvis ST device. The result is expressed as diagnostic indices, CBI (Corvis Biomechanical Index), BAD-D (Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia Index total deviation) and TBI (Tomographic Biomechanical Index). The use of optical coherence tomography is necessary to perform corneal epithelial thickness mapping as well as pachymetry to rule out hidden stromal thinning.

Keywords: keratoconus, subclinical forme, forme Fruste, cornea, ectasia

Received 30 March 2022. Revised 12 April 2022. Accepted 30 May 2022

For citation: Bobkova D.O. Keratoconus: current aspects of diagnosis and classification. *Pacific Medical Journal*. 2022;3:13–18. doi: 10.34215/1609-1175-2022-3-13-18

Corresponding author: Diana O. Bobkova, ophthalmologist of Diagnostic Department, Primorsky Center of Eye Microsurgery (100e, Borisenko Str., Vladivostok, 690088, Russian Federation); ORCID: 0000-0002-8178-8949; phone: +7 (967) 530-13-30; e-mail: dusha.9494@mail.ru

Кератоконус (КК) – прогрессирующее невоспалительное эктатическое заболевание роговицы, характеризующееся ее истончением, формированием конического выпячивания и развитием нерегулярного астигматизма с различной степенью нарушения зрения [1, 2]. Распространенность КК варьирует в зависимости от этнической принадлежности. У представителей европеоидной расы она составляет около 1000 случаев, а в странах Азии и Ближнего Востока – 1500–5000 заболевших на 100 000 населения. Как правило, КК проявляется в 20–30-летнем возрасте. Прирост случаев

выявления КК коррелирует с развитием диагностических возможностей и методов раннего выявления заболевания [3].

История становления современной классификации КК

Единой классификации КК до настоящего времени не предложено. Представленные варианты основываются на различных клинических и диагностических показателях.

В 1961 году М. Амслер впервые предложил разделять КК на четыре стадии по данным кератотопографии,

биомикроскопии, офтальмометрии и остроты зрения [4, 9].

В 1982 году З.Д. Титаренко при измерении толщины роговицы и глубины передней камеры выделила пять стадий заболевания: начальную, выраженную, развитую, далекозашедшую и запущенную.

Позднее Ю.Б. Слонимский предложил хирургическую классификацию КК, где установил три стадии, основанные на необходимости проведения сквозной кератопластики: дохирургическую, хирургическую и терминальную. Данная классификация учитывает остроту зрения, рефракцию, толщину роговицы и радиус ее кривизны, глубину передней камеры, длину глаза, наличие помутнения роговицы и переносимости контактных линз.

Впоследствии Y.S. Rabinowitz объединил I и II стадии КК в субклиническую форму, а III–IV отнес к клинической стадии заболевания [5].

М.М. Дронов предложил самостоятельные нозологические формы КК: передний, острый и задний [6].

В 2010 году Т.Д. Абугова, опираясь на работы М. Amsler, предложила расширенную классификацию КК. В ее работах кроме четырех стадий, основанных на биомикроскопических признаках, были выделены шесть типов КК для подбора конструкции контактных линз, три клинические формы развития заболевания и три формы на основе количественной оценки прогрессирования КК с помощью специального критерия – топографического показателя стадии Абуговой, ТПС (delta topographic index stadion of Abugova, TiSA) [7].

В 2011 году М.М. Бикбов и Г.М. Бикбова представили объективную диагностическую классификацию КК по данным оптической когерентной томографии (ОКТ), пахиметрии и биометрии. На основании инструментального измерения толщины роговицы,

глубины передней камеры и строения угла передней камеры авторы описали четыре стадии КК.

В 2014 году С.Б. Измайловой и соавт. [8] была разработана хирургическая классификация, включающая субклиническую стадию (Forme fruste) и четыре клинические стадии с соответствующим алгоритмом хирургического лечения. Разделение основано на данных максимальной корригированной остроты зрения, биомикроскопии, минимального значения пахиметрии (по результатам ОКТ роговицы), конфокальной микроскопии и значений элевации роговичной поверхности.

Отметим, что, несмотря на различные подходы, наибольшее распространение получила классификация М. Amsler в модификации Krumeich [9]. Последний дополнил ее параметрами средней кератометрии, пахиметрии роговицы в самой тонкой точке и аномалиями рефракции (табл. 1).

Необходимость диагностики ранних или субклинических форм КК стала особенно актуальной после появления рефракционной хирургии, поскольку эти случаи чаще проявляются как пострефракционная хирургическая эктазия. Это обстоятельство раскрыло недостатки старой системы стадирования заболевания, которая учитывала только переднюю кривизну и показывала апикальную толщину роговицы [10].

В 2016 г. М. Belin предложил систематизировать стадии КК в буквенно-цифровом выражении, которая представлена на кератотомографе Oculus Pentacam (табл. 2). Значения буквенных показателей выражаются в следующем виде: А – передняя кривизна роговицы, В – задняя кривизна роговицы, С – пахиметрия, D – корригируемая острота зрения (этот показатель изначально вводится пользователем), кроме того, существуют дополнительные модификаторы: (+) – наличие рубцов, (–) – отсутствие рубцов, (++) – рубцы,

Таблица 1

Классификация клинических стадий кератоконуса по Amsler–Krumeich

Стадия I	Конусообразная роговица, начальное появление линий Фогта Миопия/Астигматизм <5 дптр Кератометрия ≤48,0 дптр Отсутствие помутнений роговицы ОЗ 0,5–1,0
Стадия II	Линии Фогта Астигматизм 5–8 дптр Кератометрия ≤53,0 дптр Пахиметрия ≥400 мкм Отсутствие помутнений роговицы ОЗ 0,1–0,4
Стадия III	Астигматизм 8–10 дптр Кератометрия >53,0 Пахиметрия 300–400 мкм Отсутствие помутнений роговицы ОЗ 0,09–0,02
Стадия IV	Кератометрия >55,0 дптр Клиническая рефракция не определяется Пахиметрия <300 мкм Центральное помутнение роговицы ОЗ 0,001–0,02

Таблица 2

ABCD – классификация кератоконуса по Belin

ABCD Критерии	A Передняя кривизна роговицы	B Задняя кривизна роговицы	C Пахиметрия	D Корригируемая острота зрения	Степень рубцевания
Стадия 0	>7.25 mm (<46.5 D)	>5.90 mm (<57.25 D)	>490 μm	=20/20 (=1.0)	-
Стадия I	>7.05 mm (<48.0 D)	>5.70 mm (<59.25 D)	>450 μm	<20/20 (<1.0)	-, +, ++
Стадия II	>6.35 mm (<53.0 D)	>5.15 mm (<65.5 D)	>400 μm	<20/40 (<0.5)	-, +, ++
Стадия III	>6.15 mm (<55.0 D)	>4.95 mm (<68.5 D)	>300 μm	<20/100 (<0.2)	-, +, ++
Стадия IV	<6.15 mm (>55.0 D)	<4.95 mm (>68.5 D)	=300 μm	<20/400 (<0.05)	-, +, ++

скрывающие детали радужной оболочки. Каждый из показателей соответствует определенной стадии, и по окончании исследования классификация представляется в буквенно-числовом виде с дополнительным модификатором (пример: A0/B1/C1/D1-) [11, 12].

Особенности диагностики КК

При диагностике КК, особенно его субклинической формы, большое значение имеет комплексная оценка с применением различных инструментальных методов исследования. Основной алгоритм складывается из проведения биомикроскопии, визометрии, авторефрактокератометрии, офтальмометрии, биометрии глазного яблока, ультразвуковой пахиметрии, компьютерной топографии роговицы, ОКТ, конфокальной микроскопии, исследования биомеханического ответа роговицы и анализа уровня аберраций роговичного волнового фронта [4, 13, 14].

Определение остроты зрения

По данным визометрии, острота зрения (ОЗ) снижается до сотых в зависимости от стадии КК. В 2010 году Alió и Shabayek опубликовали систему градации визуального ограничения на основании максимально корригируемой остроты зрения вдаль (CDVA) по системе logMar. В ретроспективном исследовании были учтены изменения ОЗ, рефракции, пахиметрии, тонометрии, внутреннего астигматизма и топографии. Эти результаты позволили сформулировать отдельную классификацию КК, где $CDVA < 0,05$ единицы соответствует I стадии КК, $0,05 \leq CDVA < 0,19$ – II стадии, $0,19 \leq CDVA < 0,40$ – III стадии, $\leq 0,40$ – IV стадии (значительное ограничение зрения) [15].

В 2018 году проводилось интересное исследование, авторы которого сравнивали максимально корригируемую и некорригируемую ОЗ у пациентов с КК и простым миопическим астигматизмом. Оказалось, что в группе пациентов с КК и умеренным астигматизмом показатели некорригируемой ОЗ вдаль оказались лучше, чем в группе с простым миопическим астигматизмом. Такая закономерность объясняется компенсаторным механизмом аберраций в дополнение к хроническому состоянию аберрированного зрения, ведущему к нервной компенсации. Максимально корригированная острота зрения вдаль оказалась выше у пациентов с простым миопическим астигматизмом [16].

Кератометрия, кератотопография и индексы корнеальной статистики

Проведение автокераторефрактометрии является весьма информативным исследованием для диагностики КК в сочетании с показателями кератометрии (SimK) и ультразвуковой пахиметрии. Для конуса с центральной локализацией соответствуют пороговые значения кератометрии в виде $K > 47,2$ D и центральной толщины роговицы $CCT \leq 491,6$. Для нецентральной локализации – $K \geq 45,8$ D и $CCT \leq 503$. Даже при отсутствии данных ультразвуковой пахиметрии, но при сочетании крутого SimK $\geq 45,8$ дптр и SimK астигматизма $\geq 1,89$ дптр следует подозревать развитие КК [17].

Краеугольным камнем диагностики КК считается проведение кератотопограммы с помощью дисков Пласидо и топограммы Шаймпфлюг-анализатора. Сравнительным недостатком исследования методом Пласидо является отсутствие информации о задней поверхности роговицы и отсутствие данных о парацентральной и периферической зонах. Томограмма Шаймпфлюг-анализатора обеспечивает полную визуализацию передней и задней поверхности роговицы. Несмотря на эти особенности, топографы не взаимозаменяемы в клинической практике [18].

Кератотопограммы Пласидо представлены в топографическом, цифровом и трехмерном видах. Топограммы позволяют получить данные о форме, оптической силе и радиусе кривизны роговицы с помощью цветных шкал. Теплые красные оттенки показывают больший радиус кривизны, что указывает на высокую силу преломления. Холодные голубые оттенки отражают меньший радиус кривизны и соответственно меньшую силу преломления. Существует два способа построения шкал кривизны: в виде сагиттальной (рассчитывается в точке относительно пересечения с оптической осью) и тангенциальной (в каждой точке независимо от оптической оси). Топографические фенотипы КК представлены в виде классического паттерна с зоной укручения, ассиметричного астигматизма «галстук-бабочка» и нерегулярного астигматизма по типу «изогнутой бабочки» [4, 19]. Кроме того, существует несколько диагностических систем на основе сравнительных индексов. Индекс Рабиновича и Макдоннелла (I-S) характеризует разницу силы преломления между пятью точками верхней гемисферы и нижней на расстоянии

3 мм от центра. Значение более 1,4 дптр указывает на субклинический КК. Индекс SRAX рассчитывается угол между самыми крутыми полумеридианами, расположенными выше и ниже горизонтальной оси. Его значение более 20% соответствует КК. Позже Рабинович и Rasheed разработали индекс KISA%, который рассчитывается по формуле с помощью показателей регулярного астигматизма (AST), индексов I-S, SRAX и центральной кривизны (K). KISA% в значении более 100% указывает на наличие КК, 60–100% соответствует группе риска. Другой индекс Smolek/Klyce (KSI) отражает степень тяжести КК. При этом показатель >30% является значимым критерием диагностики КК. Индекс Klyce/Maeda (KCI) рассчитывается на основании системы KPI (шкала, включающая 8 индексов, полученных с помощью видеокератографии) и 4 других индексов, которая выражается в % и выявляет паттерн КК. Значение 0–5% позволяет подозревать КК, >5% является признаком манифестации КК [20, 21, 22].

*Исследование биомеханических свойств роговицы,
Шаймпфлюг-анализ и aberromетрия*

Исследование волнового фронта (уровня аберраций), биомеханических свойств, топографии передней и задней поверхности роговицы одновременно можно провести на современном кератотомографе Pentacam совместно с прибором Corvis ST, который проводит бесконтактную тонометрию и исследование биомеханики роговицы. Диагностика и оценка риска развития КК основываются на индексе CBI (Corvis Biomechanical Index) по данным Corvis ST по шкале от 0 до 1. Общий индекс отклонения (BAD-D) определяется по результатам регрессивного анализа Pentacam по шкале от 0 до 3 и выше. Индекс TBI (Tomographic Biomechanical Index) рассчитывается на основании данных топографии роговицы, полученных с Pentacam, и биомеханической оценки от Corvis ST по шкале от 0 до 1 [10, 23].

Необходимо отметить, что роговица может иметь биохимические отклонения при отсутствии изменений на томограмме или топограмме. Вот почему комплексное исследование топографических и биохимических свойств является более чувствительным подходом для диагностики КК, особенно для выявления «подверженной риску» роговицы на «биохимической стадии» [24].

На кератотомографе Pentacam есть возможность провести исследование волнового фронта аберраций роговицы, используя анализ Зернике, основанный на статистической подборке IBM SPSS (общая сетевая база). В первую очередь следует обращать внимание на аберрации высшего порядка (HOA) и характерную для КК вертикальную кому. Числовые показатели aberromетрии выражаются как индексы RMS – средне-квадратичное значение, RMS total – общее и RMS HOA [25, 26].

ОКТ и конфокальная микроскопия

Применение ОКТ при диагностике КК показывает истинное истончение стромы. Томограмма позволяет измерить толщину роговицы, демонстрирует карту толщины эпителия и позволяет определить причину деформации поверхности при рубцевании, деформации контактных линз и нарушении слезной пленки. Анализ карты важен для проведения дифференциальной диагностики, поскольку эпителиальная ткань компенсаторно меняется в ответ на истончение стромы, а толщина роговицы и топографические изображения могут соответствовать норме [27].

С помощью конфокальной микроскопии можно визуализировать структурные изменения эпителия роговицы, субэпителиального нервного сплетения, стромы, стромальных нервов и эндотелия. При развитии КК плотность кератоцитов и длина нервных волокон роговицы снижаются, а толщина стромальных нервных волокон становится больше [28].

Биомикроскопические исследования

С помощью биомикроскопии на щелевой лампе и ретиноскопии можно обнаружить ранние признаки КК: симптом «гаснущей звезды» или «фейерверка», связанный с разрежением стромы роговицы на вершине формирующегося конуса [4]. К другим признакам относятся утолщение нервных волокон роговицы и симптом Ризутти или коническое отражение на лимбе с носовой стороны при освещении фонариком с височной [29]. Появление эффекта ножниц при ретиноскопии обусловлено движением теней в разных направлениях [30]. Биомикроскопия позволяет также установить патологический рефлекс размытой «нефтяной капли» в пределах предполагаемой вершины кератоконуса [31], кольцо Флейшера в виде отложения железа в эпителии вокруг основания конуса, стрии Фогта или складки десцеметовой мембраны.

Признаками манифестации заболевания являются симптом Мансона – выпячивание нижнего века при взгляде вниз и разрывы боуеновой мембраны. В этой ситуации часто наступает острый гидропс, при котором разрыв десцеметовой мембраны позволяет воде проникать в строму, вызывая отек роговицы и ее рубцевание [29].

Быстрый метод диагностики Tick-test

В 2019 году был предложен дополнительный метод быстрой диагностики КК на щелевой лампе Tick-test, основанный на взаимном расположении рефлексов Пуркинье. Луч источника света направляется на глаз под углом 20–40° височно и назально на расстоянии около 30 см, что позволяет визуализировать три рефлекса Пуркинье (P1, P2, P4). В здоровых глазах отклонение P2 составляет 0,04 мм, а в кератоконических – более 0,2 мм. При визуальном соединении этих точек между собой (P1–P2–P4) формируется фигура в виде галочки (tick). Отклонение P2 в условиях «тикового

теста» можно объяснить наклоном задней поверхности роговицы назад [32].

Заключение

Стадии развития КК, их специфические признаки и диагностические критерии обобщены в различных систематических подходах, среди которых классификации Amsler в вариации Krumeich и «ABCD» М. Belin являются наиболее информативными. Адекватная диагностика КК особенно актуальна при выявлении ранних стадий заболевания на этапе первичного поликлинического звена. «Золотым стандартом» диагностики КК является Шаймпфлюг-визуализация с применением Pentacam Oculus в сочетании с прибором Corvis ST с последующей оценкой индексов СВИ, BAD-D, TBI. Проведение ОКТ осуществляется в целях исследования карты толщины эпителия и пахиметрии для исключения скрытого истончения стромы. Биомикроскопическое исследование заключается в обнаружении характерных ранних или поздних признаков КК. Визометрия и авторефрактометрия позволяет определить ОЗ и оценить показатели кератометрии (крутого SimK и SimK астигматизма).

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования: авторы заявляют о финансировании работы из собственных средств.

Литература / References

- Ермолюк Ф.О. Клинические проявления и диагностика кератоконуса. Лечение ятрогенного кератоконуса. *Справочник врача общей практики*. 2020;7:37–42. [Ermolyuk FO. Clinical manifestations and diagnosis of keratoconus. Treatment of iatrogenic keratoconus. *General Practitioner's Handbook*. 2020;7:37–42 (In Russ.)] doi: 10.33920/med-10-2007-05
- Бурджа Н.Т. Новейшие сведения о клиническом лечении кератоконуса. *Точка зрения. Восток–Запад*. 2020;4:90–1. [Burcu NT. Updates on Clinical Management of Keratoconus. *Point of view. East–West*. 2020;4:90–1 (In Russ.)] doi: 10.25276/2410-1257-2020-4-90-91
- Santodomingo-Rubido J, Carracedo G, Suzaki A, Villa-Colar C, Vincent SJ, Wolffsohn JS. Keratoconus: An updated review. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2022;1–26. doi: 10.1016/j.clae.2021.101559
- Синицын М.В. Клинико-экспериментальная оценка эффективности интрастромальной имплантации колец MYORING по оптимизированной технологии в реабилитации пациентов с кератоконусом. *Российская офтальмология онлайн*. 2017;17–20. [Sinicyn MV. Kliniko-eksperimentalnaya ocenka effektivnosti intrastromalnoy implantacii kolec MYORING po optimizirovannoy tehnologii v reabilitacii pacientov s keratoconusom. *Rossiyskaya oftalmologiya onlain*. 2017:17–20 (In Russ.)] URL: <https://oai:eyepress.ru:article23737>
- Подтынных Е.В., Басинская Л.А., Комаровских Е.Н. Современные представления об этиопатогенезе и методах диагностики кератоконуса (обзор литературы). *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015;12(187):188–96. [Podtynnyh EV, Basinskaya LA, Komarovskikh EN. Sovremennye predstavleniya ob etiopatogeneze i metodah diagnostiki keratoconusa (obzor literatury). *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015;12(187):188–96 (In Russ.)]
- Бикбов М.М., Бикбова Г.М. Эктазии роговицы (патогенез, патоморфология, клиника, диагностика, лечение). *Эктазии роговицы*. Изд-во: Офтальмология, 2011;12–3. [Bikbov MM, Bikbova GM. Ectazii rogovicy (patogenez, patomorfologiya, klinika, diagnostika, lechenie). *Ectazii rogovicy*. Izd-vo: Ophthalmologiya, 2011;12–3 (In Russ.)]
- Абугова Т.Д. Клиническая классификация первичного кератоконуса. *Современная оптометрия*. 2010; 5:17–20. [Abugova TD. Klinicheskaya klassifikatsiya pervichnogo keratoconusa. *Sovremennaya optometriya*. 2010;5:17–20 (In Russ.)]
- Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Сахнов С.Н., Комарова О.Ю., Яркин Д.А., Малышев И.С. Десятилетний опыт применения оригинального алгоритма хирургического лечения пациентов с начальными стадиями кератоконуса. *Офтальмохирургия*. 2021;3:28–39. [Izmaylova SB, Malyugin BE, Sahnov SN, Komarova OYu, Yarkin DA, Malyshev IS. Desyatiletний опыт primeneniya originalnogo algoritma hiruricheskogo lecheniya patsiyentov s nachalnymi stadiyami keratoconusa. *Ophthalmologiya*. 2021;3:28–39 (In Russ.)]
- Терещенко А.В., Демьянченко С.К., Тимофеев М.А. Кератоконус (обзор). *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2020;16(1):293–97. [Tereshchenko AV, Demyanchenko SK, Timofeev MA. Keratoconus (obzor). *Saratovskiy nauchno-medicinskiy zhurnal*. 2020;16(1):293–7. (In Russ.)]
- Zhang M, Zhang F, Lia Yu, Songa Ya, Wanga Zh. Early Diagnosis of Keratoconus in Chinese Myopic Eyes by Combining Corvis ST with Pentacam. *Current Eye Research*. 2020;45(2):118–23. doi: 10.1080/02713683.2019.1658787
- Belin MW, Duncan JK. Keratoconus: The ABCD Grading System. *Klin Monatsbl Augenheilkd*. 2016;2–6. doi: 10.1055/s-0042-100626
- Belin MW, Kundu G, Shetty N, Gupta K, Mullick R, Thakur P. ABCD: A new classification for keratoconus. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020;68(12):2831–34. doi: 10.4103/ijo.ijo_2078_20
- Moodley V. A review of corneal imaging methods for the early diagnosis of pre-clinical Keratoconus. *Journal of Optometry*. 2020;13(4):269–75. doi: 10.1016/j.optom.2019.11.001
- Солодкова Е.Г., Фокин В.П., Борискина Л.Н., Балалин С.В. Современные возможности диагностики и лечения кератоконуса. *Российская офтальмология онлайн*. 2021;14–23. [Solodkova EG, Fokin VP, Boriskina LN, Balalin SV. Sovremennye vozmozhnosti diagnostiki i lecheniya keratoconusa. *Rossiyskaya oftalmologiya onlain*. 2021:14–23. (In Russ.)] URL: <https://oai:eyepress.ru:article45660>
- Alio JL, Pinero DP, Aleson A, Teus MA, Barraquer RI, Murta J, Maldonado MJ, Castro de Luna G, Gutierrez R, Villa C, Uceda-Montanes A. Keratoconus-integrated characterization considering anterior corneal aberrations, internal astigmatism, and corneal biomechanics. *J. Cataract & Refractive Surgery*. 2011;37(3):552–68. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.10.046
- Mimouni M, Najjar R, Rabina G, Vainer I, Kaiserman I. Visual acuity in patients with keratoconus: a comparison with matched regular myopic astigmatism. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2019;257:313–19. doi: 10.1007/s00417-018-4188-1
- Prakash G, Srivastava Dh, Choudhuri S, Thirumalai SM, Baccero R. Differences in central and non-central keratoconus, and their effect on the objective screening thresholds for keratoconus. *Acta Ophthalmologica*. 2016;94(2):118–29.
- Raul M. Cornea and anterior eye assessment with placido-disc keratometry, slit scanning evaluation topography and scheimpflug imaging tomography. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2018;66(3):360–66. doi: 10.4103/ijo.ijo_850_17
- Ghemame M, Charpentier P, Mouriaux F. Corneal topography in clinical practice. *Journal Français d'Ophthalmologie*. 2019;42(10):439–51. doi: 10.1016/j.jfo.2019.09.001
- Goebels S, Eppig T, Wagenpfeil S, Cayless A, Seitz B, Langenbucher A. Staging of keratoconus indices regarding tomogra-

- phy, topography and biomechanical measurements. *American journal of ophthalmology*. 2015;159(4):733–38. doi: 10.1016/j.ajo.2015.01.014
21. Shi Ye. Strategies for improving the early diagnosis of keratoconus. *Dovepress*. 2016;(8):13–21. doi: 10.2147/ OPTO.S63486
 22. Heidari Z, Mohammadpour M, Hashemi H, Jafarzadehpour E, Moghaddasi A, Yaseri M, Fotouhi A. Early diagnosis of subclinical keratoconus by wavefront parameters using Scheimpflug, Placido and Hartmann– Shack based devices. *International Ophthalmology*. 2020;40:1659–71. doi: 10.1007/s10792-020-01334-3
 23. Kataria P, Padmanabhan P, Gopalakrishnan A, Padmanaban V, Mahadik S, Ambrosio Jr R. Accuracy of Scheimpflug-derived corneal biomechanical and tomographic indices for detecting subclinical and mild keratectasia in a South Asian population. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2019;45(3):328–26. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.10.030
 24. Vinciguerra R, Ambrósio Jr R, Roberts CJ, Azzolini C, Vinciguerra P. Biomechanical Characterization of Subclinical Keratoconus Without Topographic or Tomographic Abnormalities. *Journal of Refractive Surgery*. 2017;33(6):399–407. doi: 10.3928/1081597X-20170213-01
 25. Mirzajani A, Aghataheri S, Ghoreishi M, Jafarzadepour E, Mohammadinia M. Evaluation of corneal higher order aberrations in normal topographic patterns. *Journal of Current Ophthalmology*. 2016;28(2):75–80. doi: 10.1016/j.joco.2016.03.001
 26. Kaşıkci M, Eroğul Ö, Eroğul LE, Gobeka HH. Corneal Aberrations in Keratoconus: A Pentacam Scheimpflug Imaging Study Keratokonus. *Journal Of Contemporary Medicine*. 2021;11(2):134–38. doi: 10.16899/jcm.846006
 27. Yip H, Chan E. Optical coherence tomography imaging in keratoconus. *Clinical and Experimental Optometry*. 2019;102(3):218–23. doi: 10.1111/cxo.12874
 28. Martínez-Abad A, Pinero DP. New perspectives on the detection and progression of keratoconus. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2017;43(9):1213–27. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.07.021
 29. Feldman BH, Plumb. AAO RC, Kozak A, Sheth Sh, Bunya VY, Rose L, Ortiz-Morales G, Karakus S, Asbell PA. Keratoconus. *Eye Wiki*. 2021. URL: <https://eyewiki.org/Keratoconus>
 30. Al-Mahrouqi H, Oraba SB, Al-Habsi Sh, Mundemkattil N, Babu J, Panchatcharam SM, Al-Saidi R, Al-Raisi A, Retinoscopy as a Screening Tool for Keratoconus. *Cornea. The Journal of cornea and external disease*. 2019;38(4):442–5. doi: 10.1097/ICO.0000000000001843
 31. Дронов М.М., Голышев И.В. Методы диагностики кератоконуса у сотрудников МЧС России. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2014;2:13–8. [Dronov MM, Golyshev IV. Metody diagnostiki keratokonusa u sotrudnikov EMERCOM of Russia. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2014;2:13–8. (In Russ.)]
 32. Gellrich MM. The tick sign – a new and simple test to diagnose keratoconus at the slit lamp. *Acta Ophthalmologica*. 2019;97(4):666–7. doi: 10.1111/aos.13975