

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-77-81>

Акустическая плотность склеры глаз с кератоконусом и ее клиническое значение

Е.П. Тарутта, А.Т. Ханджян, Т.Н. Киселева, С.В. Милаш, А.В. Иванова, О.В. Гурьянова✉, Г.А. Маркосян, А.Н. Бедретдинов, К.А. Рамазанова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — оценка биофизических свойств склеры по ее акустической плотности в глазах с кератоконусом (КК), высокой миопией и в здоровых глазах. **Материал и методы.** Обследовано 34 пациента (67 глаз) 15–45 лет с КК, 15 пациентов (30 глаз) 17–28 лет с высокой миопией и 15 здоровых лиц (30 глаз) в возрасте 28–37 лет. Акустическую плотность склеры определяли в заднем полюсе (АПС-1) и в зоне экватора (АПС-2) на аппарате Voluson E8 (GE Healthcare, США). Передне-заднюю ось (ПЗО), толщину роговицы (ТР), глубину передней камеры (ГПК), толщину хрусталика (ТХ) измеряли с помощью Galilei G6 (Ziemer Group, Швейцария) и высчитывали глубину стекловидного тела (ГСТ) по формуле: $ГСТ = ПЗО - ТР - ГПК - ТХ$. **Результаты.** При КК АПС-1 в среднем составляла $242,5 \pm 7,4$ у. е., АПС-2 — $234,1 \pm 12,1$ у. е., длина ПЗО = $24,6 \pm 1,1$ мм, ГСТ = $17,1 \pm 0,4$ мм. При высокой миопии АПС оказалась достоверно ниже: АПС-1 = $210,3 \pm 15,7$ у. е., АПС-2 = $201,2 \pm 11,2$ у. е., а ПЗО и ГСТ выше: ПЗО = $27,0 \pm 0,7$ мм, ГСТ = $19,2 \pm 0,5$ мм ($p < 0,05$). В здоровых глазах АПС-1 составила $247,5 \pm 2,8$ у. е., АПС-2 = $238,1 \pm 0,6$ у. е., т. е. практически не отличалась от группы КК ($p > 0,05$), длина ПЗО = $23,7 \pm 0,6$ мм, ГСТ = $16,0 \pm 0,6$ мм. Выявлена достоверная тенденция к снижению АПС при КК в глазах с ПЗО $\geq 25,0$ мм. Вероятно, в этих случаях имеется сочетание КК с осевой миопией. **Заключение.** Величина АПС у пациентов с КК приближается к аналогичному показателю здоровых глаз и достоверно выше показателя глаз с высокой миопией. Разработан способ дополнительной дифференциальной диагностики КК и врожденной миопии с высокой рефракцией роговицы и астигматизмом путем анализа АПС и ГСТ.

Ключевые слова: роговица; кератоконус; врожденная миопия; акустическая плотность склеры

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Тарутта Е.П., Ханджян А.Т., Киселева Т.Н., Милаш С.В., Иванова А.В., Гурьянова О.В., Маркосян Г.А., Бедретдинов А.Н., Рамазанова К.А. Акустическая плотность склеры глаз с кератоконусом и ее клиническое значение. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (1): 77–81. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-77-81>

Acoustic density of the sclera of keratoconus eyes and its clinical significance

Elena P. Tarutta, Anush T. Khandzhyan, Tatyana N. Kiseleva, Sergey V. Milash, Anastasia V. Ivanova, Olga V. Guryanova✉, Gayane A. Markosyan, Aleksey N. Bedretdinov, Kamilla A. Ramazanova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
dolphin2086@yandex.ru

Purpose: to assess the biophysical properties of the sclera by measuring its acoustic density in keratoconus, highly myopic, and healthy eyes. **Material and methods.** We examined 34 patients (67 eyes) aged 15–45 with keratoconus of various stages, 15 patients (30 eyes) aged 17–28 with high myopia and 15 people (30 eyes) aged 28–37 without ophthalmic pathology. The acoustic density of the sclera (ADS) was measured on the Voluson E8 ultrasound device (GE Healthcare, USA) in the posterior eye pole (ADS-1) and in the equatorial area (ADS-2). The axial length (AL) of the eye, corneal thickness (CT), anterior chamber depth (ACD), and lens thickness (LT) were determined using Galilei G6 (Ziemer Group, Switzerland). The vitreal chamber depth (VCD) was calculated according to the formula: $VCD = AL - CT - ACD - LT$.

Results. In keratoconus patients, the average ADS-1 value was 242.5 ± 7.4 conventional units (CU), ADS-2 averaged 234.1 ± 12.1 CU, AL was 24.6 ± 1.1 mm long, and VCD was 17.1 ± 0.4 mm. In high myopia group, the average value proved to be significantly lower: ADS-1 was 210.3 ± 15.7 CU, ADS-2 — 201.2 ± 11.2 CU, while AL and VCD were higher: resp. 27.0 ± 0.7 mm and 19.2 ± 0.5 mm ($p < 0.05$). In the control group (healthy eyes), ADS-1 was 247.5 ± 2.8 and ADS-2 was 238.1 ± 0.6 CU, which practically showed no difference to the keratoconus group ($p > 0.05$). AL was 23.7 ± 0.6 mm, and VCD was 16.0 ± 0.6 mm. An insignificant tendency toward ADS drop in keratoconus eyes with AL over 25.0 mm was observed. Probably, we are dealing here with a combination of keratoconus with axial myopia. **Conclusion.** The acoustic density of the sclera of keratoconus patients approaches the respective parameter of healthy eyes and is significantly higher than that of highly myopic eyes. The analysis of acoustic density of the sclera and vitreal chamber depth may be considered as a method of additional differential diagnostics of keratoconus and congenital myopia with high corneal refraction and astigmatism.

Keywords: cornea; keratoconus; congenital myopia; acoustic density of the sclera; vitreal chamber depth

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Tarutta E.P., Khandzhyan A.T., Kiseleva T.N., Milash S.V., Ivanova A.V., Guryanova O.V., Markosyan G.A., Bedretinov A.N., Ramazanova K.A. Acoustic density of the sclera of keratoconus eyes and its clinical significance. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (1): 77–81 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-77-81>

Кератоконус (КК) — это прогрессирующее невоспалительное двустороннее заболевание роговицы, которое характеризуется ее истончением, структурной дезорганизацией, конусовидным выпячиванием, изменением биомеханических свойств. Согласно современным данным, распространенность КК колеблется от 200 до 4800 на 100 тыс. человек, а уровень заболеваемости оценивается как 1,5–25,0 случаев на 100 тыс. человек в год соответственно. Наиболее часто КК выявляется у лиц в возрасте 20–30 лет, а также среди ближневосточных и азиатских народностей [1].

Снижение зрения при КК первоначально происходит за счет неправильного астигматизма и миопии, а вторично — по причине рубцевания роговицы. Характерными признаками КК, помимо истончения роговицы, являются отложения железа в базальных клетках эпителия с формированием колец Флейшера, складки в строме роговицы (стрии Фогта), помутнения и рубцевание ее оптической зоны.

Патологическую основу КК составляет измененный коллаген роговицы. Строма роговицы состоит в основном из коллагена I типа, но содержит также коллаген типа V и VI, в небольшом количестве — коллаген III, XII, XIII, XV и XVIII типов [2]. Нарушения обмена коллагена роговицы активизируют процессы деградации стромы, что проявляется в уменьшении ее толщины, числа коллагеновых пластинок и кератоцитов [3]. Изменяется состав и ориентация коллагеновых фибрилл, уменьшается содержание коллагена I, III, V и XII типов [4–7], а также снижается уровень поперечной связанности (кросслинкинга) коллагеновых структур [8–10].

При высокой осевой миопии, как известно, происходят изменения коллагена склеры. Коллаген склеры представлен преимущественно в виде I типа (до 90 %), в меньшей степени — III типа (10 %). По мнению ряда авторов, в склере также присутствует в незначительном количестве коллаген V и VI типов. В норме коллаген имеет трехмерную структуру, сформированную за счет плотно упакованных фибрилл, ориентированных в различных направлениях [11–16]. Процесс дезорганизации коллагена склеры при миопии имеет сложный механизм и носит нарастающий характер [11]. Начальные изменения проявляются в виде расщепления коллагеновых фибрилл на субфибриллы и высвобождения гликозаминогликанов из протеогликановых комплексов. По мере увеличения степени близорукости эти изменения усиливаются и приводят к истончению фиброзной оболочки при высокой миопии, к снижению содержания клеточных и волокнистых структур, гликозаминогликанов [11, 17, 18]. Биомеханическая устойчивость фиброзной ткани, зрелость

коллагеновых волокон во многом определяются уровнем и характером поперечных сшивок — внутри- и межмолекулярных связей в коллагеновых структурах [19, 20]. Е.Н. Иомдина впервые оценила уровень поперечной связанности коллагена (кросслинкинг) склеры в норме и при миопии [21, 22] и установила, что количество поперечных сшивок коллагена в миопической склере снижено на 15 % [19].

Состояние склеры при КК до настоящего времени остается неизученным. Авторы одной работы для выяснения, вовлекается ли склера, так же как и роговица, в патологический процесс при КК, исследовали толщину роговицы на приборе Pentacam и переднего сегмента склеры с помощью оптической когерентной томографии переднего отрезка глаза (Spectralis) [23]. Среднее значение центральной толщины роговицы в группе КК было значимо ниже, чем в группе контроля ($447,8 \pm 57,8$ мкм против $550,5 \pm 35,5$ мкм) ($p < 0,001$), в то время как достоверной разницы в значениях толщины передней области склеры между группами не было ($479,1 \pm 43,7$ мкм против $474,2 \pm 43,0$ мкм, $p = 0,57$). В то же время в исследовании S. Dhaese и соавт. [24] в глазах с КК обнаружена связь параметров передней поверхности роговицы со степенью асимметрии склеры и расположением ее наиболее крутой зоны. Авторы выявили корреляцию между такими параметрами передней поверхности роговицы, как плоский и крутой меридианы, и асимметрией склеры ($r > 0,5$, $p < 0,05$). В то же время величина астигматизма передней поверхности роговицы не коррелирует со степенью иррегулярности склеры ($r = -0,11$; $p = 0,32$). Не обнаружено корреляций склеральной асимметрии и с другими специфическими для данного заболевания параметрами роговицы: кривизной ее задней поверхности и толщиной.

В ряде случаев при врожденной близорукости встречается очень высокая преломляющая сила роговицы и высокий астигматизм. Известно, что при КК патологические изменения роговицы прогрессируют с течением времени, в то время как при врожденной миопии параметры роговицы остаются неизменными. В связи с этим существует проблема своевременной точной диагностики вышеуказанных патологий, и разработка дополнительных критериев дифференциальной диагностики врожденной миопии и КК является актуальной задачей. Существующий способ диагностики КК с использованием шаймпфлюг-камеры основан на анализе данных пахиметрии и топографии передней и задней поверхности роговицы. Однако таким образом невозможно дифференцировать начальный и субклинический КК от врожденной миопии с высокими показателями рефракции роговицы

(нередко 45,0–48,0 дптр) и роговического астигматизма (нередко до 6,0 дптр и выше).

Одним из дифференциальных признаков при диагностике КК и врожденной миопии может стать показатель акустической плотности склеры (АПС). Возможность измерения затухания ультразвукового сигнала в тканях глаза, предусмотренная в большинстве современных сканирующих приборов, нашла применение в ультразвуковой дифференцировке тканей. Величина отраженного сигнала и амплитуда его затухания находятся в прямой зависимости от физических свойств ткани — ее плотности или жесткости.

Исследования биофизических свойств склеры при миопии по ее акустической плотности (АПС) проводятся в МНИИ ГБ им. Гельмгольца с 1989 г. (Ф.Е. Фридман и соавт., Е.П. Тарутта и соавт., 1989–2017). Выявлено снижение АПС, нарастающее по мере увеличения степени миопии, особенно выраженное при врожденной близорукости [25]. Исследования АПС при КК до настоящего времени не проводилось.

ЦЕЛЬ работы — оценка биофизических свойств склеры по ее акустической плотности в глазах с КК, высокой миопией и в контрольных глазах без офтальмопатологии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основная группа составила 34 пациента (67 глаз) в возрасте от 15 до 45 лет (в среднем $26,6 \pm 4,0$ года) с КК различных стадий. В группу сравнения вошли 15 пациентов (30 глаз) в возрасте 17–28 лет (в среднем $19,7 \pm 4,0$ года) с миопией высокой степени без КК; контрольная группа включала 15 здоровых лиц (30 глаз) в возрасте 28–37 лет (в среднем $30,2 \pm 5,0$ года).

Измерение АПС в условных единицах (у. е.) проводили на ультразвуковом многофункциональном диагностическом аппарате Voluson E8 (GE Healthcare, США) с линейным датчиком с частотой излучения от 10 до 16 МГц. АПС определяли в заднем полюсе (АПС-1) и верхненаружном отделе (АПС-2) глаза. Для измерения передне-задней оси глаза использовали прибор Galilei G6 (Ziemer Group, Швейцария) в режиме G6. Глубину витреальной камеры (стекловидного тела) глаза высчитывали по формуле: ГСТ = ПЗО – ТР – ГПК – ТХ, где ГСТ — глубина стекловидного тела (мм), ПЗО — передне-задняя ось глаза (мм), ТР — толщина роговицы (центральная) (мм), ГПК — глубина передней камеры (мм), ТХ — толщина хрусталика (мм).

Таблица. Средние показатели ПЗО (мм), ГСТ (мм) и АПС в глазах с КК и высокой миопией ($M \pm \sigma$)

Table. The average values of axial length (AL), vitreous chamber depth (VCD) and acoustic scleral density (ASD) in keratoconic eyes (KC) and in eyes with high myopia ($M \pm \sigma$)

Параметры Parameters	Контрольная группа The control group n = 30	Группа КК KC group			Группа высокой врожденной миопии High myopia group n = 30
		КК KC n = 67	КК с ПЗО < 25,0 мм KC with AL < 25,0 mm n = 37	КК с ПЗО ≥ 25,0 мм KC with AL ≥ 25,0 mm n = 30	
АПС задний полюс, у. е. ADS posterior pole, conv. un.	$247,5 \pm 2,8$	$242,5 \pm 7,4$	$244,5 \pm 4,8$	$240,3 \pm 6,5$	$210,3 \pm 15,7^*$
АПС экватор, у. е. ADS equator zone, conv.un.	$238,1 \pm 0,6$	$234,1 \pm 12,1$	$235,4 \pm 12,6$	$232,1 \pm 14,3$	$201,2 \pm 11,2^*$
ПЗО, мм AL, mm	$23,7 \pm 0,6$	$24,6 \pm 1,1^{**}$	$24,0 \pm 0,7$	$25,6 \pm 0,6^{***}$	$27,0 \pm 0,7^{***}$
ГСТ, мм VCD, mm	$16,0 \pm 0,6$	$17,1 \pm 0,4^{'}$	$15,3 \pm 0,3$	$17,7 \pm 0,7^{'}$	$19,2 \pm 0,5^{''}$

Примечание. * — различие с группой контроля достоверно, $p < 0,05$, ** — различие с группой высокой миопии достоверно, $p < 0,05$,

*** — различие с группой контроля достоверно, $p < 0,01$, ' — различие с группой высокой миопии достоверно, $p < 0,05$, '' — различие с группой контроля достоверно, $p < 0,01$.

Note. * — significant difference with the control group, $p < 0,05$, ** — significant difference with the high myopia group, $p < 0,05$, *** — significant difference with the control group, $p < 0,01$, ' — significant difference with the high myopia group, $p < 0,05$, '' — significant difference with the control group, $p < 0,01$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты представлены в таблице.

В группе пациентов с КК среднее значение АПС в заднем полюсе составило $242,5 \pm 7,4$, а в зоне экватора — $234,1 \pm 12,1$ усл. ед. При этом, по данным биометрии, длина ПЗО колебалась от 23,4 до 26,38 мм, в среднем составляя $24,6 \pm 1,1$ мм. Учитывая характерные изменения переднего отрезка глаза при КК, приводящие к увеличению ГПК, в соответствии с задачами данной работы мы высчитывали увеличение ГСТ, т. е. отрезка глаза от заднего полюса хрусталика до заднего полюса глаза. Именно эта величина имеет связь с состоянием склеры, плотность которой может снижаться при ее увеличении. ГСТ у обследованных пациентов с КК варьировала от 16,0 до 19,4 мм, в среднем составив $17,1 \pm 0,4$ мм.

В группе пациентов с высокой миопией без КК среднее значение АПС в заднем полюсе составило $210,3 \pm 15,7$, а в верхненаружном квадранте экваториальной зоны — $201,2 \pm 11,2$ у. е. Разница показателей как в заднем полюсе, так и в зоне экватора достоверна по сравнению с группой контроля (здоровые глаза) и с группой КК ($p < 0,05$). Длина ПЗО у пациентов с миопией варьировала от 26,0 до 28,0 мм, составляя в среднем $27,0 \pm 0,7$ мм, а ГСТ варьировала от 18,3 до 20,1 мм, составляя в среднем $19,2 \pm 0,5$ мм.

В группе контроля АПС в заднем полюсе ($247,5 \pm 2,8$ у. е.) и зоне экватора ($238,1 \pm 0,6$ у. е.) практически не отличалась от группы КК ($p > 0,05$). По данным биометрии, длина ПЗО глаза у данной группы колебалась от 22,9 до 24,4 мм, в среднем составив $23,7 \pm 0,6$ мм, ГСТ варьировала от 15,1 до 16,4 мм, в среднем составив $16,0 \pm 0,6$ мм.

Нельзя исключить сочетания КК с осевой миопией. КК вполне может развиваться в глазах с приобретенной или врожденной близорукостью. В этом случае возможно снижение АПС, вызванное осевой миопией. Для выяснения этого вопроса все пациенты с КК были разделены на две подгруппы: с длиной ПЗО менее 25,0 мм и равной или более 25,0 мм.

В первой подгруппе (37 глаз с ПЗО < 25 мм) среднее значение АПС в заднем полюсе составило $244,5 \pm 4,8$ (от 225 до 253 у. е.), а в верхненаружном квадранте экваториальной зоны — $235,4 \pm 12,6$ (от 230 до 238 у. е.). Величина ПЗО колебалась от 22,6 до 24,7 мм и в среднем составила $24,0 \pm 0,7$ мм. ГСТ в данной подгруппе колебалась от 13,8 до 16,1 мм, в среднем составив $15,3 \pm 0,3$ мм.

Во второй подгруппе (31 глаз с ПЗО ≥ 25 мм) значения АПС колебались в заднем полюсе от 225 до 255 у. е., в среднем составив $240,3 \pm 6,5$ у. е., а в верхненаружном квадранте экваториальной зоны соответственно от 228 до 236 у. е., в среднем — $232,1 \pm 14,3$ у. е. Величина ПЗО у данной подгруппы пациентов находилась в интервале от 25,0 до 27,4 мм и в среднем составила $25,6 \pm 0,6$ мм. ГСТ в данной подгруппе варьировала от 16,7 до 19,4 мм, в среднем составив $17,7 \pm 0,7$ мм.

Таким образом, величина АПС у пациентов с КК приближается к аналогичному показателю здоровых глаз и достоверно выше соответствующего показателя глаз с высокой миопией. Недостоверная тенденция к снижению биофизической плотности склеры при КК выявлена в глазах с ПЗО $\geq 25,0$ мм. Вероятно, в этих случаях имеется сочетание КК с осевой миопией.

На основании полученных данных нами разработан способ дифференциальной диагностики КК и врожденной миопии с высокой рефракционной силой роговицы и астигматизмом. Способ осуществляется следующим образом: проводится определение ГСТ и АПС в области заднего полюса и в верхненаружном квадранте экваториальной зоны. При значениях ГСТ менее 17 мм, АПС в области заднего полюса — более 240 у. е., а в верхненаружном квадранте экваториальной зоны — более 230 у. е. диагностируют КК [26].

Клинический пример 1. Пациент К., 25 лет. Впервые обратился с жалобами на снижение остроты зрения вдаль. Из анамнеза известно, что высокая миопия была с детства, величины астигматизма не знает. Пользуется очками OU sph -5,0 cyl -2,0 ax 180°. Данные более раннего объективного обследования отсутствуют.

Vis в очках OD = 0,4, OS = 0,3. Авторефрактометрия: OD sph -6,75 cyl -4,5 ax 176°, OS sph -7,75 cyl -5,25 ax 172°. Максимально скорректированная острота зрения (МКОЗ): Vis OD 0,05 со sph -6,75 cyl -3,5 176° = 0,7. Vis OS 0,05 со sph -7,75 cyl -3,25 ax 172° = 0,5–0,6.

С целью исключения КК пациенту проведена кератотопография. Кератометрия роговицы: OD Sim K 47,5 дптр, cyl 4,75 ax 88°, OS Sim K 48,4 дптр, cyl 5,68 ax 89°. Кератотопографические индексы передней поверхности роговицы КРП и Кргор были высокими, OD — 21,9 и 36,2 %, OS — 35,4% и 80,9 % соответственно. С учетом данных кератометрии и высоких топографических индексов передней поверхности поставлен диагноз: «субклинический КК». С целью дифференциальной диагностики врожденной миопии и КК проведено дополнительное исследование: ПЗО, ЦТР, ГПК и ТХ с вычислением ГСТ, а также измерение АПС в верхненаружном квадранте экваториальной зоны и заднем полюсе.

Полученные следующие данные: OD — ПЗО — 26,1 мм, ЦТР — 0,51 мм, ГПК — 3,6 мм, ТХ — 3,5 мм; OS — ПЗО — 26,45 мм, ЦТР — 0,5 мм, ГПК — 3,65, ТХ — 3,45. Вычисляем ГСТ: ПЗО — ЦТР — ГПК — ТХ. OD: $26,1 - 0,51 - 3,6 - 3,5 = 18,49$ мм; OS: $26,45 - 0,5 - 3,65 - 3,5 = 18,8$ мм.

АПС заднего полюса: OD — 220 у. е., OS — 218 у. е., в экваторе: OD — 209 у. е., OS — 203 у. е.

С учетом ГСТ OU > 17 мм и АПС менее 240 у. е. в заднем полюсе и менее 230 у. е. в верхненаружном квадранте экваториальной зоны поставлен диагноз: «врожденная миопия».

Осмотр через год: МКОЗ и все параметры кератометрии остались те же. Отсутствие отрицательной динамики параметров кривизны и астигматизма роговицы исключает диагноз КК и подтверждает диагноз «врожденная миопия».

Клинический пример 2. Пациентка М., 19 лет. Обратилась с жалобами на снижение зрения вдаль. Авторефрактометрия: OD sph -5,0 cyl -3,5 ax 20°, OS sph -6,5 cyl -4,75 ax 156°. МКОЗ:

Vis OD 0,05 со sph -5,0 cyl -3,5 20° = 0,6, Vis OS 0,05 со sph -6,5 cyl -4 ax 159° = 0,5.

С целью исключения или подтверждения КК пациентке проведена кератотопография. Кератометрия роговицы: OD Sim K 47,03 дптр, cyl 3,75 ax 110°, OS Sim K 47,75 дптр, cyl 5,0 ax 66°. Кератотопографические индексы передней поверхности роговицы КРП и Кргор были высокими: OD — 19,7 и 28,9 %, OS — 26,5 и 52,8 % соответственно. С учетом данных кератометрии и высоких топографических индексов передней поверхности поставлен диагноз: «субклинический КК». С целью дифференциальной диагностики врожденной миопии и КК проведено дополнительное исследование ПЗО, ЦТР, ГПК и ТХ с вычислением ГСТ, а также АПС в верхненаружном квадранте экваториальной зоны и заднего полюса.

Полученные данные: OD — ПЗО — 23,8 мм, ЦТР — 0,5 мм, ГПК — 4,0 мм, ТХ — 3,5 мм; OS — ПЗО — 23,9 мм, ЦТР — 0,5 мм, ГПК — 4,1 мм, ТХ — 3,5. Вычисляем ГСТ: OD: $23,8 - 0,5 - 4,0 - 3,5 = 15,8$ мм, OS: $23,9 - 0,5 - 4,1 - 3,5 = 15,8$ мм. АПС в заднем полюсе: OD — 244 у. е., OS — 246 у. е., в экваторе OD — 234 у. е., OS — 232 у. е.

С учетом ГСТ OU < 17 мм и АПС более 240 у. е. в заднем полюсе и более 230 у. е. в зоне экватора диагностировали КК. Осмотр через год: МКОЗ снизилась на 0,1. Параметры кератометрии и астигматизма увеличились более чем на 1 дптр, ЦТР уменьшилась на 5 % от исходной толщины, что подтверждает диагноз КК и свидетельствует о его прогрессировании.

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведено сравнительное исследование биофизических свойств склеры по ее акустической плотности при КК и врожденной миопии.

2. Выявлено, что АПС при КК не отличается от показателей группы контроля и достоверно выше, чем при врожденной миопии.

3. Разработан способ дополнительной дифференциальной диагностики КК и врожденной миопии с высокой рефракцией роговицы и астигматизмом по анализу АПС и ГСТ.

Литература/References

1. Santodomingo-Rubido J., Carracedo G., Suzuki A., et al. Keratoconus: an updated review. Cont Lens Anter. Eye. 2022; 45 (3): 101559. doi: 10.1016/j.clae.2021.101559
2. Ihanamaki T.T., Pelliniemi L.J., Vuorio E. Collagens and collagen-related matrix components in the human and mouse eye. Prog Retin Eye Res. 2004; 23 (4): 403–34. doi: 10.1016/j.preteyeres.2004.04.002
3. Takahashi A., Nakayasu K., Okisaka S., Kanai A. [Quantitative analysis of collagen fiber in keratoconus. Nihon Ganka Gakkai Zasshi]. 1990; 94 (11): 1068–73.
4. Chaerkady R., Shao H., Scott S.G., et al. The keratoconus corneal proteome: loss of epithelial integrity and stromal degeneration. J. Proteomics. 2013; 87: 122–31. doi: 10.1016/j.jprot.2013.05.023
5. Akhtar S., Bron A.J., Salvi S.M., et al. Ultrastructural analysis of collagen fibrils and proteoglycans in keratoconus. Acta Ophthalmol. 2008; 86 (7): 764–72. doi: 10.1111/j.1755-3768.2007.01142.x
6. Maatta M., Heljasvaara R., Sormunen R., et al. Differential expression of collagen types XVII/endostatin and XV in normal, keratoconus, and scarred human corneas. Cornea. 2006; 25 (3): 341–9. doi: 10.1097/01.icc.0000178729.57435.96
7. Maatta M., Vaisanen T., Vaisanen M., Pihlajaniemi T., Tervo T. Altered expression of type XIII collagen in keratoconus and scarred human cornea; increased expression in scarred cornea is associated with myofibroblast transformation. Cornea. 2006; 25 (4): 448–53. doi: 10.1097/01.icc.0000183537.45393.1f
8. Galatic A., Blazej A., Kubena K. Obsah pricnych vazeb v kolagenu ocní belimy a rohovky. Cesk. Oftalmol. 1983; 39 (6): 424–9.
9. Harding J.J., Crabbe M.J.C. Cross-linking sites of corneal and sclera collagens and their relationship to keratoconus and degenerative myopia. Ophthalmic Res. 1980; 12: 139–42.
10. Meek K.M., Hayes S. Corneal cross-linking — a review. Ophthalmic Physiol. Opt. 2013; 33 (2): 78–93. doi: 10.1111/opo.12032
11. Avetisov E.S., Savitskaya N.F., Vinetskaya M.I., Iomdina E.N. A study of biochemical and biomechanical qualities of normal and myopic eye sclera

- in humans of different age groups. *Metabolic, Pediatric and Systemic Ophthalmology*. 1984; 7 (4): 183–8.
12. *Dische J.* Biochemistry of connective tissues of the vertebrate eye. *Int. Rev. Connect. Tissue Res.* 1970; 5: 209–79. doi: 10.1016/b978-0-12-363705-5.50010-5
 13. *Keeley F.W., Morin J.D., Vesely S.* Vesely characterization of collagen from normal human sclera. *Exp. Eye Res.* 1984; 39 (5): 533–42. doi: 10.1016/0014-4835(84)90053-8
 14. *Keeley F.W., Morin J.D., Vesely S.* Characterization of collagen from normal human sclera. *Exp. Eye Res.* 1984; 39 (5): 533–42. doi: 10.1016/0014-4835(84)90053-8
 15. *Tengroth B., Rehnberg M., Amitzbol T.* A comparative analysis of the collagen type and distribution in the trabecular meshwork, sclera, lamina cribrosa and the optic nerve in the human eye. *Acta Ophthalmol.* 1985; 173 (suppl): 91–3. doi: 10.1111/j.1755-3768.1985.tb06856.x
 16. *Watson P.G., Young R. D.* Scleral structure, organization disease. A review. *Exp. Eye Research.* 2004; 78 (3): 609–23. doi: 10.1016/s0014-4835(03)00212-4
 17. *Аветисов Э.С., Хорошилова-Маслова И.П., Андреева Л.А.* Ультраструктурные изменения склеры при миопии. *Вестник офтальмологии*. 1980; 6: 36–42. [*Avetisov E.S., Khoroshilova-Maslova I.P., Andreeva L.A.* Ultrastructural changes in myopic sclera. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1980; 6: 36–42 (in Russian)].
 18. *Винецкая М.И., Болтаева З.К., Андреева Л.Д., Иомдина Е.Н.* Биохимические аспекты прогрессирующей миопии. *Офтальмологический журнал*. 1988; 3: 155–7. [*Vinetskaya M.I., Boltaeva Z.K., Andreeva L.D., Iomdina E.N.* Biochemical aspects of progressive myopia. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1988; 3: 155–7 (in Russian)].
 19. *Савицкая Н.Ф., Винецкая М.И., Иомдина Е.Н.* Возрастные изменения биохимических и биомеханических показателей склеры человека в норме и при миопии. *Вестник офтальмологии*. 1982; 4: 26–9. [*Savitskaya N.F., Vinetskaya M.I., Iomdina E.N.* Age-related changes of biobiochemical and biomechanical qualities of normal and myopic human sclera. *Vestnik oftal'mologii*. 1982; 4: 26–29 (in Russian)].
 20. *Bailey A.J.* Intermediate labile intermolecular cross-links collagen fibrils. *Biochim. Biophys. Acta*. 1968; 160 (3): 447–53. doi: 10.1016/0005-2795(68)90216-x
 21. *Иомдина Е.Н.* Биомеханические и биохимические нарушения склеры при прогрессирующей близорукости и методы их коррекции. В кн.: *Аветисов С.Э., Кашченко Т.П., Шамшинова А.М.*, ред. *Зрительные функции и их коррекция у детей*. Москва: Медицина; 2005: 163–83. [*Iomdina E.N.* Biomechanical and biochemical disorders of sclera with progressive myopia and methods of its correction. In: *Avetisov S.E., Kashchenko T.P., Shamshinova A.M.*, eds. *Visual functions and its correction in children*. Moscow: Meditsina; 2005: 163–83 (in Russian)].
 22. *Iomdina E.N., Daragan V.A., Ilyina E.E.* Certain biomechanical properties and crosslinking of the sclera shell of the eye in progressive myopia. In: *Proc. of XIV-th congress on biomechanics*. Paris: International Society of Biomechanics; 1993: 616–7.
 23. *Schlatter B., Beck M., Frueh B.E., Tappeiner C., Zinkernagel M.* Evaluation of scleral and corneal thickness in keratoconus patients. *Cataract. Refract. Surg.* 2015; 41 (5): 1073–80. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.08.035
 24. *Dhaese S.E., Kreps E.O., Consejo A.* Scleral shape and its correlation with corneal parameters in keratoconus. *Cont. Lens. Anterior Eye*. 2021; 44 (4): 101366. doi: 10.1016/j.clae.2020.08.010
 25. *Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Маркосян Г.А. и др.* Биомеханические показатели корнеосклеральной оболочки глаза и состояние соединительнотканной системы у детей и подростков с различными формами прогрессирующей миопии. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2013; 1: 18–23. [*Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosyan G.A., et al.* Biomechanical indicators of corneoscleral capsule of eye and condition of connective tissue system in children and adolescents with different forms of progressive myopia. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya*. 2013; 1: 18–23 (in Russian)].
 26. *Тарутта Е.П., Ханджян А.Т., Киселева Т.Н. и др.* Способ дифференциальной диагностики кератоконуса и врожденной миопии с высокой рефракционной силой роговицы и астигматизмом. Патент РФ № 2765438; 2022. [*Tarutta E.P., Khandzhan A.T., Kiseleva T.N., et al.* Method for differential diagnosis of keratoconus and congenital myopia with high refractive power of the cornea and astigmatism. Patent RF, № 2765438; 2022 (in Russian)].

Вклад авторов в работу: Е.П. Тарутта — дизайн и концепция исследования, написание и редактирование статьи, формулировка выводов; А.Т. Ханджян — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи; Т.Н. Киселева — концепция, дизайн, методология исследования; С.В. Милаш — сбор, статистическая обработка, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи к публикации; А.В. Иванова — сбор и статистический анализ данных, подготовка статьи к публикации; О.В. Гурьянова — анализ литературы, сбор и статистический анализ данных, написание статьи; Г.А. Маркосян — сбор данных, редактирование; А.Н. Бедретдинов, К.А. Рамазанова — сбор, статистическая обработка, анализ и интерпретация данных.

Authors contribution: E.P. Tarutta — research concept and design, scientific editing, formulation of conclusions, final approval of the article for publication; A.T. Khandzhan — research concept and design; T.N. Kiseleva — research concept and design, scientific editing; S.V. Milash — data collection, processing and interpretation, preparation of the article for publication; A.V. Ivanova — data collection, preparation of the article for publication; O.V. Guryanova — literature review, data collection, statistical analysis, writing of the article; G.A. Markosyan — data collection, editing of the article; A.N. Bedretdinov, K.A. Ramazanov — data collection, processing and interpretation.

Поступила: 05.06.2022. Переработана: 13.06.2022. Принята к печати: 14.06.2022

Originally received: 05.06.2022. Final revision: 13.06.2022. Accepted: 14.06.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники
Ануш Тиграновна Ханджян — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела, главный научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований
Сергей Викторович Милаш — канд. мед. наук, врач-офтальмолог, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Анастасия Владимировна Иванова — канд. мед. наук, врач-офтальмолог, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Ольга Владимировна Гурьянова — врач-офтальмолог, аспирант отдела патологии сетчатки и зрительного нерва

Гаянэ Айказовна Маркосян — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Алексей Наильевич Бедретдинов — канд. мед. наук, врач-офтальмолог, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований

Камилла Ахметовна Рамазанова — канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковых исследований

Для контактов: Ольга Владимировна Гурьянова,
dolphin2086@yandex.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Anush T. Khandzhan — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of pathology of the retina and optic nerve

Tatyana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of ultrasound research

Sergey V. Milash — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Anastasia V. Ivanova — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Olga V. Guryanova — PhD student, department of pathology of the retina and optic nerve

Gaiyane A. Markosyan — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Aleksey N. Bedretdinov — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of ultrasound research

Kamilla A. Ramazanov — Cand. of Med. Sci., head of ultrasound research unit

Contact information: Olga V. Guryanova,
dolphin2086@yandex.ru