

DOI: 10.21802/gmj.2016.4.21

УДК 617.713 – 036 – 073.178 – 08 – 035

Шаргородская И.В.

Особенности биомеханических свойств тканей глаза при кератоконусе

Кафедра офтальмологии (зав. каф. проф. Рыков С.А.)

Национальной медицинской академии последипломного образования имени П.Л. Шупика, г. Киев, Украина

ishargorodskamd@hotmail.com

Резюме. Вступление. Значительные достижения последних лет в современной диагностике и лечении кератоконуса не сняли с повестки дня актуальность данной проблемы, поскольку традиционные представления о патогенезе кератоконуса не всегда позволяют эффективно бороться с этим сложным и непрерывно прогрессирующим заболеванием.

Цель исследования – провести изучение особенностей биомеханических свойств роговицы при кератоконусе.

Материалы и методы. В статье представлен анализ изучения биомеханических свойств роговицы при кератоконусе. Обследовано 44 пациента (88 глаз) с кератоконусом и эметропической рефракцией. Для вычисления биомеханических показателей роговицы проводили сравнительный анализ между измерениями, полученными с использованием нескольких способов у одних и тех же пациентов: прибора Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam по стандартной методике и показателями, вычисленными путем использования предложенного нами способа и прибора для оценки ригидности роговой оболочки глаза *in vivo*.

Результаты. Отмечены значительные преимущества использования разработанного нового способа и прибора для оценки ригидности роговицы *in vivo* по сравнению с кератотопографией на Шемпфлюг камере Oculus Pentacam, который позволяет не только выявить наличие биомеханических нарушений роговицы, но и дифференцировать их характер. Для описания степени изменений биомеханических свойств роговицы *in vivo* разработан коэффициент ригидности роговицы.

Выводы. Нагрузочные пробы позволяют получить более точную информацию о биомеханических свойствах роговицы в сравнении со стандартными исследованиями на Шемпфлюг камере Oculus Pentacam.

Ключевые слова. Кератоконус, биомеханические свойства, ригидность, коэффициент ригидности роговицы, фиброзная оболочка глазного яблока.

Постановка проблемы и анализ последних исследований.

Значительные достижения последних лет в современной диагностике и лечении кератоконуса не сняли с повестки дня актуальность данной проблемы, поскольку, как показывает действительность, традиционные представления о патогенезе кератоконуса не всегда позволяют эффективно бороться с этим сложным и непрерывно прогрессирующим заболеванием. Отсутствие методов, определяющих пусковые, ключевые патогенетические звенья в ранней субклинической стадии этого заболевания, не позволяет точно выявить начальный момент их возникновения, а известные и доступные методы лечения направлены, в основном, на профилактику и замедление прогрессирования патологического процесса. Учитывая стремительную эволюцию развития офтальмологического диагностического оборудования на протяжении последнего десятилетия, изучение путей решения существующих противоречий, анализ и обобщение известных на сегодня знаний касательно природы биомеханических процессов в фиброзной оболочке глаза, разработка методик прижизненной клинической оценки биомеханических свойств роговицы, получили активный толчок к развитию на современном витке офтальмологической науки. Как показывают клинические исследования последних лет [17, 18, 21, 22, 27, 33], главенствующие мировые позиции отстаивают две методики оценки биомеханических свойств роговицы при кератоконусе: анализатор глазного ответа Ocular Response Analyzer (ORA) и кератотопография, выполненная с помощью Orbscan II, Oculus Pentacam, Oculazer и др. При чем, анализ на ORA позволяет определить изменение роговичного гистерезиса (CH), который по мнению

авторов [17, 18, 20, 21, 22, 25, 33], является ключевой величиной диагностики кератоконуса. Вторая группа диагностических приборов позволяет обнаружить разницу в морфологических особенностях нормальной роговицы и на глазу с кератоконусом, что, согласно данным разработчиков, выступает главным прогностическим критерием диагностики. Однако, несмотря на кажущиеся преимущества обеих методик, остается еще целый ряд противоречивых положений, доказанных ограничений и недостатков представленных методов [17, 18, 27].

Цель исследования – провести изучение особенностей биомеханических свойств роговицы при кератоконусе.

Материалы и методы исследования

Обследовано 44 пациента (88 глаз). Все пациенты прошли комплексное офтальмологическое обследование на клинической базе кафедры офтальмологии НМАПО имени П.Л. Шупика КГКОБ «Центр микрохирургии глаза» и были осведомлены о характере исследования (Протокол КЕ №3 (71) от 14.03.2011 года решения этического комитета НМАПО имени П.Л.Шупика). В процессе исследования пациенты были распределены на две группы. В основную группу были включены 24 пациента (48 глаз) с кератоконусом. Группу сравнения составили 20 пациентов (40 глаз) с эметропической рефракцией, у которых острота зрения была выше 0,5. Обе группы были сопоставимы по возрасту и полу. Из 48 исследуемых глаз пациентов основной группы на всех 48 глазах (100%) отмечалась миопическая рефракция. Острота зрения выше 0,5 отмечалась у 33,3% пациентов основной группы, у 50,0% она была в диапазоне от 0,1 до 0,4. и в 16,7% случаев острота зрения была ниже 0,1. Исходный уровень ВГД в целом по основной группе пациентов бал равен $10,31 \pm 1,94$ мм рт.ст. В тоже время исходные уровни ВГД у пациентов группы сравнения соответствовал $13,46 \pm 2,15$ мм рт.ст. При проведении первичного скрининга пациентов особое внимание обращали на сопутствующую патологию. Дистрофия сетчатки была выявлена в 8,3% случаев пациентов основной группы. У пациентов группы сравнения отсутствовала сопутствующая офтальмологическая патология.

Согласно биомикроскопическим признакам роговицы [5, 14], все глаза пациентов основной группы были классифицированы по стадиям кератоконуса (согласно классификации, Amsler M., дополненной А.А. Киваевым с соавт.) [5, 12]. Таким образом, среди 24 пациентов (48 глаз) с кератоконусом, кератоконус I стадии был на 14 глазах (29,17%), II стадии на 12 глазах (25,0%), III стадии на 12 глазах (25,0%) и на 10 глазах (20,83%) – IV стадии заболевания.

Вначале пациентам обеих групп проводили исходное стандартное офтальмологическое обследование. Для вычисления биомеханических показателей роговицы проводили сравнительный анализ между измерениями, полученными с использованием нескольких способов у одних и тех же пациентов: прибора Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam по стандартной методике и показателями, вычисленными путем использования предложенного нами способа и прибора для оценки ригидности роговой оболочки глаза *in vivo* [8, 9]. Кератотопография на Шемпфлюг камере Oculus Pentacam выполнялась в классическом варианте [2]. Способ оценки ригидности роговой оболочки глаза *in vivo* [9] выполняли с помощью Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam, используя стандартные программы по работе с прибором, в условиях искусственного повышения внутриглазного давления (ВГД), которое реализовывали при помощи прибора для определения ригидности роговой оболочки глаза *in vivo* (патент Украины на изобретение № 85810 от 25.02.2009) [8, 9], создающего равномерную дозированную двухминутную компрессию глазного яблока в 30 грамм. Исходно проводили базисные исследования кератотопографических характеристик на приборе Шемпфлюг камере Oculus Pentacam без нагрузки по стандартной методике. Затем повторно в условиях искусственного повышения внутриглазного давления

Таблица 1. Динамика изменений кератотопографических показателей при исходном состоянии и в условиях искусственно-повышенного внутриглазного давления в целом у пациентов основной группы, n=48

Исследуемые показатели	M+m		M разницы, Δ	Изменение показателя в % к исходному значению
	Исходные значения	Значения во время компрессии		
Сферический эквивалент, front, дптр	52,37±0,83	55,82±0,92 ^{1*}	3,45	+6,59
Сферический эквивалент, back, дптр	-	-6,41±0,03 ^{1*}	2,2	-25,55
Степень астигматизма	4,8±0,03	4,9±0,02 ^{1*}	0,1	+2,1
K max. (Front), дптр	63,91±0,84	67,01±0,9 ^{1*}	3,1	+4,85
Pachy Pupil Center, μm	432±11,6	407±21,4 ^{1*}	25,0	-5,79
Comea front, Rm, mm	6,62±0,07	5,42±0,05 ^{1*}	1,2	-18,13
Comea front, Rmin, mm	4,75±0,04	3,35±0,05 ^{1*}	1,4	-29,47
Comea back, Rm, mm	6,83±0,09	5,85±0,07 ^{1*}	0,98	-14,35
Comea back, Rmin, mm	4,27±0,05	2,94±0,02 ^{1*}	1,33	-31,15
Tangential Curvature (Front), дптр	53,13±0,6	56,74±0,81 ^{1*}	3,61	+6,79
A. C. Depth (Int), mm	3,25±0,03	3,16±0,02 ^{1*}	0,09	-2,77
ПЗО, mm	26,41±0,37	26,83±0,37 ^{1*}	0,42	+1,59

Примечание: 1. – ¹ - параметрические методы оценки достоверности результатов статистического исследования (по Стьюденту). 2. – * - разница по сравнению с исходным уровнем достоверна (p<0,05)

проводили измерения тех же показателей с использованием стандартных программ Шемпфлог камеры Oculus Pentacam. Полученные результаты исследования фиксировали в статистической карте обследования пациента. Проводили расчет показателя ΔСЭ и коэффициента ригидности роговицы (K_{ER}). Для оценки изменений биомеханических свойств роговицы *in vivo* была разработана формула, описывающая коэффициент ригидности роговицы [10]. Полученные результаты обработаны статистически с помощью программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты исследования представлены в таблицах 1-2.

Анализируя полученные результаты и изучая кератотопограммы при обследовании пациентов основной группы в исходном состоянии стандартным методом на Шемпфлог камере Oculus Pentacam обращают на себя внимание следующие факты (табл. 1): во-первых, идеально равномерной топографической картины в оптической зоне пациента с кератоконусом не отмечается. Во-вторых (табл. 1), степень астигматизма очень часто превышала 2,0 дптр, и была в среднем по группе 4,8 ± 0,03 дптр. Сферический эквивалент роговицы был относительно высокий (52,37±0,83 дптр) и коррелировал со значениями ПЗО (26,41±0,36 мм) (r=0,71; p<0,05). Установлено характерное уменьшение толщины роговицы в центре (432±15,6 μm) и снижение уровня ВГД (10,31±1,94 мм рт.ст) у пациентов с кератоконусом. Коэффициент Kmax. (Front) в среднем по основной группе был равен 63,91±0,84 дптр, а максимальный и минимальный радиусы кривизны передней поверхности роговицы составляли 6,62±0,07 и 4,75±0,04 мм соответственно (табл. 1).

При проведении модифицированного метода исследования с использованием Шемпфлог камеры Oculus Pentacam и прибора для определений ригидности роговой оболочки глаза *in vivo* [8] у пациентов основной группы с кератоконусом в условиях искусственно-повышенного ВГД отмечались следующие закономерности (табл. 1): под влиянием нагрузки происходило достоверное увеличение сферического эквивалента передней и задней поверхности рого-

Таблица 2. Динамика изменений биомеханических показателей роговицы при исходном состоянии и в условиях искусственно-повышенного внутриглазного давления у пациентов основной группы в зависимости от стадии заболевания, n=48

Стадия заболевания	M разницы, изменение ΔСЭ при компрессии	K _{ER} , % коэффициент ригидности роговицы	Δ толшина роговицы в центре зрачка, μm	Δ Cornea front, Rm, mm	ВГД, мм рт.ст.
Кератоконус I стадии, n=14	3,09 +0,03 ^{2,3*}	+6,27 2,3*	-23,41 +5,13 ^{2,3}	0,31 +0,02 ^{2,3*}	11,64 ±1,1 ^{2,3*}
Кератоконус II стадии, n=12	3,33 +0,04 ^{2,3*}	+6,34 2,3*	-31,15 +6,21 ^{2,3}	0,42 +0,03 ^{2,3*}	10,25 ±1,2 ^{2,3*}
Кератоконус III стадии, n=12	3,43 +0,02 ^{2,3*}	+6,39 2,3*	-28,04 +5,43 ^{2,3}	0,54 +0,04 ^{2,3*}	9,83 ±1,2 ^{2,3*}
Кератоконус IV стадии, n=10	4,14 +0,03 ^{2,3*}	+7,53 2,3*	-32,23 +7,22 ^{2,3}	0,67 +0,04 ^{2,3*}	9,1 ±1,2 ^{2,3*}

Примечание: 1. – ² - параметрические методы оценки достоверности результатов статистического исследования (по Фишеру). 2. – ³ - непараметрические методы оценки достоверности результатов статистического исследования (критерий знаков). 3. – * - разница по сравнению с исходным уровнем достоверна (p<0,05)

вицы (Δ= 3,45 и 2,2 дптр. соответственно), увеличение коэффициента K max. (Front) на 3,1 дптр., уменьшение максимального и минимального радиусов кривизны передней поверхности роговицы (Δ=(-)1,2 и (-)1,4мм соответственно), а также уменьшение максимального и минимального радиусов кривизны задней поверхности роговицы (Δ=(-)0,98 и (-)1,33 мм) (p<0,05).

При этом глубина передней камеры достоверно не изменялась по сравнению с исходным значением (Δ=(-)0,09мм, p<0,05) (табл. 1). В процессе исследования был рассчитан коэффициент ригидности роговицы [10], который в целом по основной группе пациентов с кератоконусом был равен (+) 6,59%.

Следует отметить, что наши исследования обнаружили факт относительной стабильности роговицы при эмметропии. У пациентов группы сравнения с эмметропической рефракцией в условиях нагрузки отмечалось небольшое сплющивание роговицы, о чем свидетельствовали: уменьшение сферического эквивалента, увеличение максимального и минимального радиусов кривизны передней поверхности роговицы, уменьшение коэффициента K max. (Front). Отмечено, что показатель ΔСЭ уменьшался в среднем по группе сравнения на 0,51 дптр (p<0,05), а коэффициент ригидности роговицы в целом по группе был равен (-)1,21% (p<0,05).

Кроме того, проведение нагрузочной пробы в условиях искусственного повышения внутриглазного давления позволило выявить существенное снижение уровня опорных свойств (ригидности) роговицы у пациентов с кератоконусом, которое проявлялось в следующих закономерностях: рефракция роговицы усиливалась, и кривизна центра роговицы становилась круче (табл. 1). Отмечалась достаточная вариабельность деформации, а также корреляция между стадией кератоконуса и уровнем деформации (чем выше стадия кератоконуса, тем больше деформация) (r=0,93 по Пирсону, p<0,05) (табл.2).

График линейной регрессии изменения уровня ΔСЭ в зависимости от стадии кератоконуса в целом у пациентов основной группы представлен на рисунке 1. Так при кератоконусе I, II, III и IV стадии отмечено усиление рефракции роговицы в среднем на 3,09±0,03 дптр, 3,33±0,04 дптр,

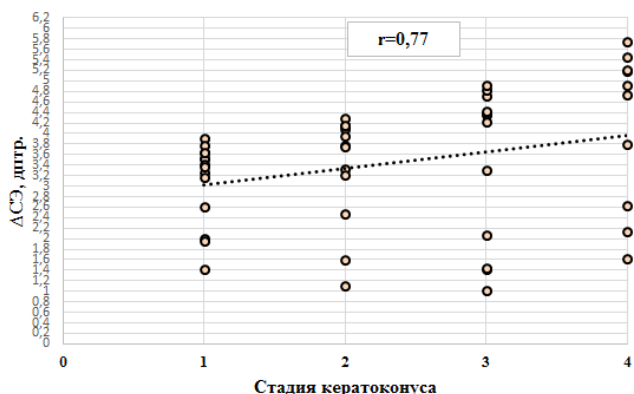


Рис. 1. График линейной регрессии изменения уровня “СЭ” и стадии кератоконуса у пациентов основной группы

3,43±0,02 дптр и 4,14±0,03 дптр. Сила корреляции по Пирсону составила $r=0,77$ ($p<0,05$) (табл. 1, рис.1). Данное обстоятельство, по-видимому, объясняется слабостью опорных качеств роговицы при кератоконусе, что находится в соответствии с данными о толщине роговицы.

У пациентов с IV стадией кератоконуса, биомеханические свойства роговицы были настолько ослаблены, что ΔСЭ некоторых глаз достигало 5,5-5,8 дптр (рис. 1). Такие изменения отмечались и у некоторых пациентов с I стадией кератоконуса, где ΔСЭ определялся в пределах 3,3-3,9 дптр ($r=0,73$ по Пирсону; $p<0,05$). При наблюдении этих пациентов на протяжении пяти лет отмечалось стойкое прогрессирующее кератоконуса.

Исследования показали (табл.2), что коэффициент ригидности роговицы (K_{ER}) [10] у пациентов основной группы колебался от (+)6,27 до (+)7,53% и коррелировал со стадией кератоконуса ($r=0,85$ по Пирсону; $p<0,05$) (табл.2). Между тем, условия нагрузки вызывали небольшое истончение центральной толщины роговицы (табл.1, табл.2). Так, в целом по основной группе, зафиксировано различие толщины роговицы в центре зрачка в среднем в пределах 25,00 μ m (табл.2) ($p<0,05$). Также не отмечалось достоверного различия между изменениями толщины роговицы при нагрузке у пациентов при разных стадиях кератоконуса (табл.2) ($p>0,05$). Установлена обратная зависимость слабой силы изменения центральной толщины роговицы от стадии кератоконуса ($r=(-)0,35$ по Пирсону; $p<0,05$). При этом, в условиях искусственно повышенного ВГД у всех пациентов основной группы глубина передней камеры достоверно не изменялась ($\Delta=0,07-0,09$ мм), по сравнению с исходным значением ($p>0,05$) (табл.1).

В результате анализа результатов исследования было отмечено, что прочностные свойства роговицы пациентов основной группы с кератоконусом не зависели от центральной толщины роговицы. Как видно на графике линейной регрессии (рис.2), роговица могла быть тонкой, но устойчивой к деформациям, в то же время у пациентов с более толстыми роговицами отмечались большие степени деформации в условиях искусственно-повышенного внутриглазного давления ($r=(-)0,36$; $p<0,05$).

Кроме того, анализ показал, что межличностная изменчивость исходного уровня ВГД коррелировала со стадией кератоконуса ($r=(-)0,56$ по Пирсону; $p<0,05$). Исходный уровень ВГД у пациентов основной группы ($n=48$ глаз) был равен $10,31\pm 1,94$ мм рт.ст. Среднее значение уровня ВГД у пациентов с кератоконусом I стадии было $11,64\pm 1,1$ мм рт.ст. Среднее значение уровня ВГД у пациентов с кератоконусом II стадии было $10,25\pm 1,2$ мм рт.ст. У пациентов с кератоконусом III стадии среднее значение уровня ВГД равнялось $9,83\pm 1,2$ мм рт.ст. В то же время, у пациентов с кератоконусом IV стадии среднее значение уровня ВГД было $9,1\pm 1,2$ мм рт.ст. (табл.2). Средние значения ΔСЭ для этих

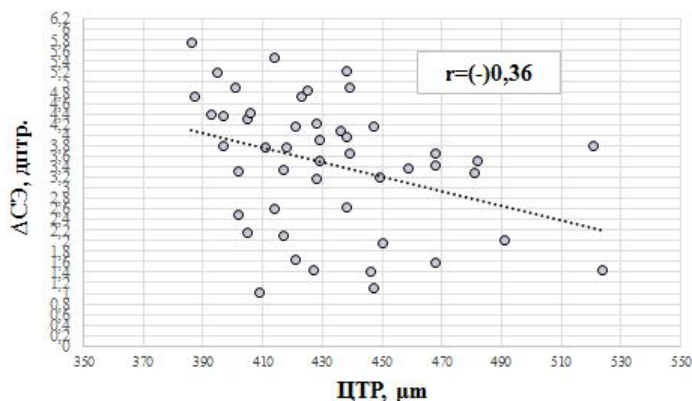


Рис.2. График линейной регрессии изменения уровня “СЭ” и толщины роговицы у пациентов основной группы

подгрупп были $3,09\pm 0,03$ дптр, $3,33\pm 0,04$ дптр, $3,43\pm 0,02$ дптр и $4,14\pm 0,03$ дптр соответственно. Коэффициенты корреляции Пирсона для них составили соответственно: $r_1=(-)0,66$; $r_2=(-)0,62$; $r_3=(-)0,81$; $r_4=(-)0,82$. Различия между последними статистически достоверны ($p<0,05$).

В процессе исследования мы также изучали соотношение изменения уровня ΔПЗО и изменения среднего уровня ΔЦТР в целом у пациентов основной группы и в зависимости от стадии кератоконуса. Условия искусственно-повышенного внутриглазного давления у пациентов с кератоконусом выявили не только слабость опорных свойств роговицы, но и снижение опорных качеств склеры, что проявлялось в увеличении ΔПЗО при нагрузке, которое коррелировало со степенью кератоконуса ($r=0,59$ по Пирсону; $p<0,05$). Так при кератоконусе I стадии отмечено увеличение ΔПЗО в среднем на $0,26\pm 0,02$ мм, при кератоконусе II стадии в среднем на $0,27\pm 0,03$ мм, при кератоконусе III стадии в среднем на $0,45\pm 0,04$ мм и при кератоконусе IV стадии – в среднем на $0,47\pm 0,03$ мм.

Изучая изменения ΔЦТР в целом у пациентов основной группы и в зависимости от стадии кератоконуса установили: достоверное большее увеличение (истончение) роговицы условиях нагрузки у пациентов при кератоконусе IV стадии, по сравнению с колебаниями изменения центральной толщины роговицы у пациентов с кератоконусом I стадии (сила корреляции по Пирсону составила $r=(-)0,35$; $p<0,05$). Корреляционный анализ позволил нам установить достоверную обратную корреляцию между уровнем ΔПЗО и уровнями ΔЦТР роговицы у пациентов основной группы ($r=(-)0,78$ по Пирсону; $p<0,05$). В частности, выявлено, что у всех пациентов основной группы при повышении значения ΔПЗО достоверно увеличивался уровень изменения значения ΔЦТР в сторону истончения центральной толщины роговицы. При чем, данный факт отмечался как у пациентов с кератоконусом I стадии ($r_1=(-)0,62$; $p<0,05$), так и у пациентов, с кератоконусом II, III, и IV стадии ($r_2=(-)0,61$; $r_3=(-)0,96$; $r_4=(-)0,83$ соответственно $p<0,05$).

Таким образом, условия нагрузки и применение предложенного нами способа оценки ригидности роговой оболочки глаза *in vivo* [9] у пациентов с кератоконусом выявляли склонность глаза к растяжению в нескольких направлениях.

Нами также было изучено взаимосвязь изменения уровня ΔСЭ и изменения радиуса кривизны передней поверхности роговицы в «крутом меридиане» (Cornea front, Rm) в целом у пациентов основной группы и в зависимости от стадии кератоконуса. Условия искусственно-повышенного внутриглазного давления у пациентов с кератоконусом выявили следующую закономерность, кривизна роговицы способствовала снижению ригидности (жесткости) роговицы. Отмечена прямая сильная корреляция между степенью деформации (СЭ) при нагрузке и радиусом кривизны передней поверхности роговицы в «крутом» меридиане ($r=0,69$

по Пирсону; $p < 0,05$).

Кроме того, зафиксировано, что по мере прогрессирования кератоконуса от I до IV стадии в условиях искусственно-повышенного внутриглазного давления изменение (увеличение) показателя $\Delta C\bar{E}$ от $(+3,09$ до $+4,14$ дптр коррелировало с колебаниями уровня ΔRm_1 , который изменялся в среднем от $(-0,98$ мм до $(-1,42$ мм ($r = (-)0,89$ по Пирсону; $p < 0,05$). По мере прогрессирования кератоконуса роговицы становилась круче, кривизна роговицы способствовала снижению жесткости и повышению ее эластичности. Соответственно, как показали результаты, отмечена сильная корреляция между увеличением степени кривизны роговицы в «крутом» меридиане в ответ на нагрузку и увеличением коэффициента ригидности роговицы, который свидетельствовал о большей степени деформации роговичной ткани под влиянием искусственного повышения ВГД. Так при кератоконусе I стадии коэффициент ригидности роговицы (K_{ER}) был равен 6,27% (табл.2), уровень ΔRm_1 изменялся в среднем на $(-0,98$ мм ($r = (-)0,79$; $p < 0,05$). При кератоконусе II стадии коэффициент ригидности роговицы (K_{ER}) соответствовал 6,34%, а средний уровень искривления передней поверхности роговицы (ΔRm_1) менялся на $(-1,13$ мм ($r = (-)0,86$; $p < 0,05$). У пациентов с III стадией кератоконуса коэффициент ригидности роговицы (K_{ER}) увеличивался до 6,39%, а средний радиус кривизны передней поверхности роговицы (ΔRm_1) уменьшался на $(-1,35$ мм ($r = (-)0,94$; $p < 0,05$). При кератоконусе IV стадии – происходило увеличение коэффициента ригидности роговицы (K_{ER}) до 7,53%, тогда как средний уровень искривления передней поверхности роговицы (ΔRm_1) менялся на $(-1,42$ мм ($r = 0,96$; $p < 0,05$). Роговицы большего диаметра растягивались под влиянием стрессового повышения ВГД значительно больше, чем стандартные.

В ходе исследования нами был проведен анализ влияния исходного уровня ВГД и биометрических характеристик (ЦТР, рефракции роговицы, Rm_1 , ПЗО и расстоянием от вершины конуса до центра роговицы) глаз пациентов основной группы на вычисляемые нами биомеханические показатели при кератоконусе. Корреляционный анализ доказал отсутствие зависимости показателей $\Delta C\bar{E}$ и коэффициента ригидности роговицы от уровня ВГД у пациентов основной группы с кератоконусом. Сила корреляции по Пирсону для этих показателей составила $r = 0,11$ и $r = 0,09$ соответственно ($p < 0,05$). Также отсутствовала зависимость результатов вычисления показателей $\Delta C\bar{E}$ и K_{ER} от ПЗО. Отмечалась прямая связь слабой степени с коэффициентами корреляции Пирсона равными $r = 0,22$ и $r = 0,25$ соответственно ($p < 0,05$).

Кроме того, была определена слабая обратная зависимость вычисляемых биомеханических показателей $\Delta C\bar{E}$ и K_{ER} у пациентов с кератоконусом от центральной толщины роговицы ($r = (-)0,36$, $r = (-)0,41$ соответственно ($p < 0,05$). Несколько большая зависимость была выявлена между показателями $\Delta C\bar{E}$ и K_{ER} от наименьшей толщины роговицы ($r = (-)0,49$ и $r = (-)0,52$ по Пирсону; $p < 0,05$) и индекса пахиметрической прогрессии ($r = (-)0,57$ и $r = (-)0,59$ по Пирсону; $p < 0,05$). Отмечалась прямая корреляционная связь слабой степени между $\Delta C\bar{E}$ и K_{ER} и торичностью роговицы ($r = 0,43$ и $r = 0,44$ по Пирсону; $p < 0,05$). Следует отметить, что согласно анализу, выявлен факт прямой сильной корреляции между показателями $\Delta C\bar{E}$, K_{ER} и радиусом кривизны роговицы в «крутом» меридиане (Rm_1) ($r = 0,77$ и $r = 0,78$; $p < 0,05$). Кроме того, определена прямая сильная зависимость значений величины $\Delta C\bar{E}$ и коэффициента ригидности роговицы от максимальной рефракции роговицы (крутого участка) при силе корреляции по Пирсону $r = 0,73$ и $r = 0,76$ ($p < 0,05$). Схожая зависимость была выявлена между элевациями передней поверхности роговицы и показателями $\Delta C\bar{E}$ и K_{ER} ($r = 0,77$ и $r = 0,78$ по Пирсону; $p < 0,05$). Обращает на себя внимание также прямая сильная корреляция между

коэффициентом ригидности роговицы, $\Delta C\bar{E}$ и расстоянием от вершины конуса до вершины роговицы ($r = 0,85$ и $r = 0,84$; $p < 0,05$).

Наибольшая корреляционная связь была выявлена между биомеханическими показателями $\Delta C\bar{E}$, K_{ER} и эксцентриситетом, I-S индексом асимметрии, элевациями задней поверхности роговицы. Сила корреляции Пирсона между значениями $\Delta C\bar{E}$ и $Asph Q$ составляла ($r = 0,84$ ($p < 0,05$), между K_{ER} и $Asph Q$ соответствовала $r = 0,87$ ($p < 0,05$), между $\Delta C\bar{E}$ и I-S asymmetry index была равна $r = 0,86$ ($p < 0,05$), а между K_{ER} и I-S asymmetry index имела значение $r = 0,89$ ($p < 0,05$). Коэффициенты корреляции Пирсона для показателей $\Delta C\bar{E}$, K_{ER} и элевации задней поверхности роговицы были равны $r = 0,91$ и $r = 0,93$ соответственно ($p < 0,05$).

Согласно данным последних мировых исследований [2, 17, 21, 26, 30], наибольшую диагностическую ценность при диагностике кератоконуса с использованием стандартного набора программ прибора Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam имеет ряд коэффициентов и показателей, которые рассматриваются в клинической практике как математическое выражение зрительных нарушений, вызванных нерегулярностью передней поверхности. К наиболее весомым из них относятся следующие индексы: отклонение преломления передней поверхности роговицы по радиусам (Index of surface variance, ISV), степень симметрии радиусов роговицы по отношению к горизонтальной оси – индекс сравнения кривизны роговицы в верхней и нижней сегментах роговицы (Index of vertical asymmetry, IVA), индекс кератоконуса по всей роговице (Keratoconus index, KI), индекс кератоконуса в центре роговицы (Central Keratoconus Index, CKI), степень симметрии сильного меридиана по отношению к горизонтальному – индекс сравнения высоты в верхней и нижней сегментах роговицы (Index of height Asymmetry, IHA), индекс децентрации распространения кератоконуса по вертикали (Index of height decentration, IHD), наименьшее изменение в паталогической области роговицы ($Rmin$), классификация кератоконуса по Амслеру (TKS) и модуль для мониторинга эктазии Беллина/Амброзио (Belin/Ambrosio Enhanced Ectasia Display – BAD).

Анализируя эти коэффициенты, офтальмологи пытаются связать изменчивость фактических показателей передней поверхности роговицы, полученных с помощью топографии, с оптическими свойствами и потенциальной наилучшей остротой зрения, которую она способна обеспечить.

В настоящем исследовании мы провели тщательный корреляционный анализ между установленными нами в условиях нагрузки и с применением прибора для определения ригидности роговицы *in vivo* биомеханическими показателями $\Delta C\bar{E}$, K_{ER} и наиболее весомыми индексами диагностики кератоконуса [2, 17, 21, 26, 30], результаты которого представлены в таблице 3.

Следует отметить (табл.3), что между всеми факторными признаками у пациентов основной группы была выявлена сильная корреляционная связь. Наибольшая корреляционная зависимость, при коэффициенте корреляции Пирсона равном $r = 0,921$ и $r = 0,943$ ($p < 0,05$), была выявлена между показателями модуля для мониторинга эктазии Беллина/Амброзио и биомеханическими показателями: $\Delta C\bar{E}$ и коэффициентом ригидности роговицы.

Уже давно возникла идея о том, что биомеханические свойства роговицы оказывают влияние на формирование рефракции, развитие офтальмопатологии, результаты различных диагностических процедур, а знания особенностей роговицы пациента могут использоваться при диагностике и выборе метода лечения ряда глазных заболеваний. Однако на сегодняшний день оценка опорных свойств капсулы глаза разработана недостаточно точно, а достоверный прибор для изучения биомеханических свойств роговичной ткани *in vivo* не описан в доступной офтальмологической литературе.

Необходимо также отметить, что последние десятилетия

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа между биомеханическими показателями и индексами диагностики кератоконуса у пациентов основной группы, n=48

Факторы, между которыми проводится корреляционный анализ	Значение коэффициента линейной корреляции Пирсона										
	$\Delta C\Delta$, дптр	K_{ER} , %	ISV	IVA	KI	CKI	INA	IHD	Rmin	TKS	BAD
$\Delta C\Delta$, дптр	-	0,995	0,882	0,879	0,837	0,843	0,858	0,887	0,862	0,894	0,921
K_{ER} , %	0,995	-	0,895	0,883	0,841	0,848	0,867	0,896	0,874	0,908	0,943
ISV	0,882	0,895	-	0,866	0,846	0,857	0,844	0,869	0,849	0,855	0,842
IVA	0,879	0,883	0,866	-	0,842	0,846	0,856	0,871	0,853	0,847	0,854
KI	0,837	0,841	0,846	0,842	-	0,894	0,849	0,882	0,877	0,863	0,889
CKI	0,843	0,848	0,857	0,846	0,894	-	0,861	0,895	0,891	0,892	0,893
INA	0,858	0,867	0,844	0,856	0,849	0,861	-	0,899	0,865	0,845	0,846
IHD	0,887	0,896	0,869	0,871	0,882	0,895	0,899	-	0,869	0,884	0,905
Rmin	0,862	0,874	0,849	0,853	0,877	0,891	0,865	0,869	-	0,898	0,897
TKS	0,894	0,908	0,855	0,847	0,863	0,892	0,845	0,884	0,898	-	0,913
BAD	0,921	0,943	0,842	0,854	0,889	0,893	0,846	0,905	0,897	0,913	-

Примечание: - указаны значения коэффициента линейной корреляции Пирсона (различие статистически значимо, $p < 0,05$)

ознаменованы интенсивной разработкой технологии индивидуальной оценки биомеханических свойств тканей глаза. Описано ряд методов и подходов к решению этой проблемы, однако каждый из них имеет свои ограничения.

Безусловно, наиболее информативные сведения о биомеханическом состоянии роговицы могут быть получены только в условиях живого глаза. Однако, несмотря на несомненную актуальность такой диагностики, прижизненные методы оценки механических параметров роговицы пока находятся в стадии разработки [19, 32]. В качестве возможных подходов к опосредованному определению данных параметров ученые использовали оптическую и голографическую интерферометрию [11, 13, 19], механическую спектроскопию [15, 19], акустическую биометрию [19] и метод фотоупругости [4, 19]. Технически очень сложный метод двухимпульсной голографической интерферометрии, который применяли исследователи [13, 19], показал, что центральная зона нормальной роговицы в физиологических условиях характеризуется практически линейной зависимостью $\sigma(\epsilon)$ и модулем Юнга, составляющим примерно 10,3 МПа [19].

Другие исследователи пробовали опосредовано исследовать прижизненные напряжения и деформации в тканях, в том числе и в роговице, используя метод фотоупругости [19]. Несомненный интерес представляют собой исследования, затрагивающие связь биомеханики роговицы с ее оптическими характеристиками (по данным aberрометрии и кератотопографии) [1, 24]. В настоящее время существуют методики, оценивающие тип и степень оптических аберраций в глазу, дана подробная классификация имеющихся типов оптических аберраций и предложены методы их устранения [1, 24]. Однако, в большинстве научных исследований и на практике офтальмологи ограничивались лишь определением таких простых показателей, как корнеальный гистерезис, толщина и топография роговицы [2, 3].

Изучая роль биомеханических свойств роговицы в развитии офтальмопатологии нельзя не остановиться на проблеме кератоконуса, заболевании, которое относится к одной из наиболее социально значимых патологий [6, 7, 16, 28] в связи с современными тенденциями к подъему заболеваемости [6, 7, 16, 28], расширением возрастного диапазона [16, 28], прогрессирующим характером течения, приводящим к инвалидности по зрению в молодом и работоспособном возрасте [6, 16, 28]. Несмотря на богатый научный опыт в изучении проблем развития и прогрессирования кератоконуса [7, 16, 28], недостаточен объем знаний в области этиологии, патогенеза и, особенно, ранней диагностики данной патологии глаза, что несомненно приводит к ограничению круга лечебных мероприятий.

В настоящее время известна роль генетических факторов

[16, 28] как играющих одну из ведущих ролей в возникновении кератоконуса, эпидемиологических факторов [16]. Описаны особенности клинической картины кератоконуса [5, 14, 16], возможные хирургические методы лечения [16] и вопросы реабилитации [16], а также сведения о предпринятых попытках консервативного лечения кератоконуса [16, 34]. Тем не менее, и на сегодня остаются актуальными и нерешенными поиск и разработка методов прижизненной ранней диагностики кератоконуса, усовершенствование патогенетически направленной терапии и методы количественного и качественного учета результатов проводимого лечения данного сложного и неоднозначного заболевания. Учитывая тот факт, что возрастной диапазон возникновения данной патологии глаз за последние года значительно изменился и средний возраст начала заболевания сместился с 11-16 лет [16] до рассвета трудоспособного возраста 21-37 лет [7, 16], данное обстоятельство диктует активный поиск и дальнейшее изучение данной проблемы.

Некоторые ученые для анализа роговицы и диагностики кератоконуса использовали данные ультразвуковой пахиметрии и видеокератографии [16]. Проводилась оценка с использованием морфологических особенностей патогенеза данного заболевания [16]. Однако многие авторы придерживались одинакового мнения в вопросе, что ранняя диагностика кератоконуса в начальных его проявлениях и прогнозирование прогрессирования процесса представляют определенные сложности [16].

На протяжении многих лет диагностика кератоконуса базировалась, в основном, на данных анамнеза и комплекса общеклинических исследований: визометрии, биомикроскопии, скиаскопии, рефрактометрии, офтальмометрии, пахиметрии [16, 34]. Однако, каждая из этих методик не имеет самостоятельного прогностического значения при диагностике этого заболевания.

Лидирующие позиции в возможностях выявления кератоконуса долгое время отстаивала видеокератография. Было создано множество моделей автокератотопографов (TMS-1, TMS-2, Orbscan, EyeSys, Keraton, Dicon CT2000 и другие), в которых на основе применения современных возможностей науки – лазерных установок, компьютерных технологий и цифровой видеотехники, проводилась оценка топографии передней поверхности роговицы [16]. Эти автоматические кератотопографические системы позволяют проводить точное измерение параметров передней поверхности роговицы [16]. Многими исследованиями показано преимущество и большая диагностическая значимость данных методик по сравнению с фотокератометрией [16, 29].

В связи с высокой разрешающей способностью описанных современных методик и открывшимися новыми

возможностями в исследовании различных отклонений поверхности роговицы от нормы стало активно развиваться перспективное направление, изучающее показатели видеокератографии для выявления минимальных диагностических критериев кератоконуса. Учеными были предложены различные алгоритмы, облегчающие диагностику кератоконуса – Smolek-Klyuce, Klyuce-Maeda, Rabinowitz-McDonnell [16, 29]. В основе этих индексов заложен подход к выявлению кератоконуса, основывающийся на данных топографических карт поверхности роговицы с использованием данных центрального радиуса (К) и разницы между нижним (I) и верхним (S) радиусами роговицы [16]. Большинство ученых сходятся во мнении, что видеокератография увеличивает возможности в диагностике раннего кератоконуса [16, 23], и разработанные алгоритмы эффективны в выявлении кератоконуса в 30-80% случаев [16, 35].

Однако не все так оптимистично в отношении высокой эффективности предложенных диагностических индексов [16]. Так, некоторые ученые на основании проведенных исследований [35] сообщают, что видеокератография часто неспособна получить полные наборы данных в случаях неправильной или асимметричной топографии роговицы, поскольку схемы в компьютерной графике очень просты и не могут отобразить подробного рельефа поверхности, которая наблюдается при кератоконусе [16]. Кроме того, проводя сравнительный анализ результатов различных видеокератографических систем, отмечается разброс значений, что значительно уменьшает надежность повторных измерений и, соответственно, снижает эффективность данного метода в динамическом наблюдении за течением заболевания [16]. Также определенную легку сомнений в абсолютную диагностическую значимость показателей видеокератографии вносит автор одного из самых эффективных диагностических критериев кератоконуса, KISA% - индекса [16], и ряд других ученых, [16] считающие, что для подтверждения диагноза кератоконуса требуется, кроме всего прочего, наличие одного или нескольких клинических признаков заболевания.

За последние года лидирующие места в диагностике кератоконуса отстаивают несколько методик – Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam и Oculazer (Alcon), анализирующие толщину и форму обеих поверхностей роговицы. Эти широко применяемые в офтальмологическом мире методы достаточно достоверно позволяют обнаружить разницу в морфологических особенностях при кератоконусе и нормальной роговице [17, 18, 21, 25, 26, 30, 33]. Многие клиницисты, которые занимаются эксимерлазерными операциями, не начинают проведение эксимерлазерной коррекции без авторитетного заключения Шемпфлюг камеры Oculus Pentacam относительно точной оценки морфологических качеств роговицы. Также долгое время сохраняет лидерство анализатор биохимических свойств роговицы – Ocular Response Analyzer и измеряемые с его помощью роговичный гистерезис и фактор резистентности роговицы [3, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 30, 33]. Тем не менее, ряд исследований нашли уязвимые места и в этих, казалось бы, непревзойденных современных лазерно-цифровых методиках [17, 25, 27, 31]. Отмечено существенное воздействие уровня ВГД [27, 31], возраста [25], дистрофических изменений [17], отека роговицы [27], предварительного кратковременного (в течение 2-х минут) потирания глаз перед обследованием [20], температуры окружающей среды [25], биомеханических факторов [25] на результаты измерения СН при исследовании на ORA.

Таким образом, признание первоочередной роли ослабления биомеханических свойств роговицы, как ключевого фактора в патогенезе развития и прогрессирования кератоконуса, других патологических состояний и заболеваний роговицы нашли достаточно широкое отражение в современной литературе. Анализируя современную офтальмологическую литературу, обращает на себя внимание тот факт,

что активным поиском методов исследования биомеханических свойств структур и тканей глаза занимались ученые уже практически на протяжении столетия. Тем не менее проблема клинического исследования ригидности глаза все еще далека от решения. Разработка новых методов оценки биомеханических свойств тканей глаза *in vivo* и системы средств борьбы с развитием и прогрессированием офтальмологической патологии актуальны и своевременны для офтальмологии.

Наше усовершенствование заключается в направленном исследовании кератотопографических характеристик с использованием современной Шемпфлюг камеры в условиях нагрузки на капсулу глаза путем повышения внутриглазного давления (ВГД). Благодаря разработанной конструкции прибора [8] создана возможность к использованию для определения ригидности роговицы современные Шемпфлюг камеры, что значительно повысило точность измерения. Прибор имеет фиксированный вес и форму, что существенно сократило время исследования и позволило изучать результаты, которые не зависят от исполнителя и могут анализироваться и сравниваться у большого количества пациентов.

Также важно отметить, что при использовании одного и того же кератотопографа и стандартных программ, в условиях искусственного повышения ВГД, которые созданы путем двухминутной дозированной механической компрессии в 30 грамм на глазное яблоко [8, 9] зарегистрированы отчетливые данные деформации роговицы на глазах с кератоконусом. Степень деформации роговицы оценивалась коэффициентом ригидности роговицы [10] и зависела от стадии патологического процесса. Кроме того, наши исследования обнаружили факт относительной стабильности роговицы при эмметропии.

Результаты исследования продемонстрировали, что в условиях искусственно повышенного внутриглазного давления использование предложенного нами способа и прибора для оценки ригидности роговицы [8, 9] позволяет не только выявить наличие биомеханических нарушений роговицы глаз пациентов с кератоконусом, по сравнению с контрольными эмметропическими пациентами, но и дифференцировать характер этих изменений. Коэффициент ригидности роговицы во всех изучаемых случаях показывал статистически достоверные результаты, которые согласовывались с клиническим течением процесса на этих глазах.

Выводы

Разработана адекватная методика прижизненной диагностики изменений биомеханических свойств роговицы, которая стала возможной при использовании прибора для оценки ригидности роговой оболочки глаза путем измерения деформации тканей глаза под нагрузкой. Для описания степени изменений биомеханических свойств роговицы *in vivo* разработан коэффициент ригидности роговицы.

Нагрузочные пробы позволяют получить более точную информацию о биомеханических свойствах роговицы в сравнении со стандартными исследованиями на Шемпфлюг камере Oculus Pentacam.

Предложенный способ и прибор для оценки ригидности роговицы *in vivo* позволяет не только выявить наличие биомеханических нарушений роговой оболочки глаза, но и дифференцировать их различный характер

Перспективы дальнейших исследований

Проведенный анализ литературы свидетельствует о том, что диагностика и мониторинг кератоконуса являются актуальными задачами современной офтальмологии. Поэтому актуальным и своевременным представляется провести углубленное исследование роли биомеханических свойств фиброзной капсулы глаза при патологических состояниях, усовершенствовать известные методы и разра-

батывать новые способы диагностики и профилактики кератоконуса, которые лягут в основу качественно новой модели организации офтальмологической помощи пациентам с кератоконусом в процессе реформирования отрасли здравоохранения Украины.

Литература

1. Балашевич Л.И. Аберрометрические исследования при эмметропии и миопии / Л.И. Балашевич, А.Б. Качанов, С.А. Никулин, С.П. Головатенко, С.М. Бауэр, Б.А. Зимин // Сборник трудов IV межрегионального семинара «Биомеханика глаза 2004» – 2004. – С.14-17.
2. Беллин М. Pentacam: опыт применения в ведущих клиниках России и мира / М. Беллин / Новое в офтальмологии. – 2011. – №4. – С. 74-79.
3. Еричев В.П. Корнеальный гистерезис в норме и при некоторых видах офтальмопатологии / В.П. Еричев // Биомеханика глаза – 2007: Сб. труд. конф. – Москва. – 2007. – С.82–87.
4. Журавлев А.И. Современное состояние и перспективы применения метода фотоупругости в офтальмологии / А.И. Журавлев, Л.К. Мальшев, Ю.Ж. Саулгозис, Ю.Д. Некрасов, В.Я. Павилайнен В.Я // Офтальмолог. журн. – 1990. – №8. – С.479-482.
5. Киваев А.А. Динамика биомикроскопических изменений роговицы при кератоконусе / А.А. Киваев, Г.А. Бабич, Т.Д. Абугова // Офтальмологический журнал. – 1979. – №4. – С.217-218.
6. Моисеенко Р.О. Офтальмологічна допомога в Україні за 2006-2011 роки / Р.О. Моисеенко, М.В. Голубчиков, Г.О. Слабкий, С.О. Риков // Київ. – 2012. – 183 с.
7. Пасечникова Н. В. Диагностические критерии кератоконуса с учетом исходных параметров роговицы и их значение в классификации / Н.В. Пасечникова, Т.С. Загородняя, Е.И. Драгомирецкая // Офтальмологический журнал. – Одесса. – 2012. – № 1. – С.4-8.
8. Патент 85810 Украина, МПК А61В 3/00. Прибор для оценки ригидности роговой оболочки глаза / Сергиенко Н.М., Шаргородская И.В.; № а 2008 07919; опубл.25.02.2009. – Бюл. № 4. – С. 4.41.
9. Патент 39262 Украина, МПК А61В 8/10. Способ оценки ригидности роговой оболочки глаза / Сергиенко Н.М., Шаргородская И.В.; № а 2008 02125; опубл. 25.02.2009. – Бюл. № 4. – С. 4.20.
10. Шаргородская И.В. Сравнительный анализ измерения биомеханических показателей роговицы при использовании различных методов / И. В. Шаргородская // Архив офтальмологии Украины. – Т.4. - №1. – 2016. – С.61-66.
11. Эскина Э.Н. Изменение некоторых механических свойств тканей глаза в результате эксимер-лазерной фотоабляции с целью коррекции астигматизма и дальнозоркости / Э.Н. Эскина, В.Н. Федорова // Глаз. – 2002. – №3 (25). – С.31-36.
12. Amsler M. La notion du keratocône / M. Amsler // Bull. Soc. franc. Ophtalmol. – 1951. – Vol.64 (2). – P.272-275.
13. Brubaker R.F. The stress-strain behavior of the corneal scleral envelope of the eye. I. Development of a system for making in vivo measurements using optical interferometry / R.F. Brubaker, S. Ezekiel, L. Chin, L. Young, S.A. Johnson, G. W. Beeler // Exp. Eye Res. – 1975. – N.21. – P.37-46.
14. Duke-Elder S. Keratoconus / S. Duke-Elder // System of Ophthalmology. Henry Kimpton. – London. – 1965. – Vol.8 (2). - P.964-976.
15. Forster W. Qualitative Analyse der Elastizität der rinderkornea durch holographische Interferometrie / W. Forster, H. Kasprzak, G. Bally, H. Busse // Klin. Mbl. Augenheilk. – 1992. – Bd.200. – S.54-59.
16. Iwaszkiewicz E. Niektóre dane epidemiologiczne / E. Iwaszkiewicz, Stozek I. Rogowki // Klin. Oczna. – 1989. – T.91 (7-9). – S.208-209.
17. Kerautret J. Biomechanical characteristics of the ectatic cornea / J. Kerautret, J. Collin, D. Touboul, C. Roberts // J Cataract. Refract. Surg. – 2008. – Vol.34. – P.510-513.
18. Kotecha A. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer / A. Kotecha, A. Elsheikh, C.R. Roberts, H. Zhu, D.F. Garway-Heath // Invest Ophthalmol. Vis Sci. – 2006. – Vol.47. – P.5337-5347.
19. Lichtinger A. Intraocular lenses for presbyopia correction: past, present, and future / A. Lichtinger, D.S. Rootman // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2012. – Vol.23 (1). – P.40-46.
20. Liu W.C. Effects of eye rubbing and breath holding on corneal biomechanical properties and intraocular pressure / W.C. Liu, S.M. Lee, A.D. Graham, M.C. Lin // Cornea. – 2011. – Vol.30. – P.855-860.

21. Liu J. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement; quantitative analysis / J. Liu, C.J. Roberts // J Cataract. Refract. Surg. – 2005. – Vol.31. – P.146-155.

22. Luce D.A. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer / D.A. Luce // J Cataract. Refract. Surg. – 2005. – Vol.31. – P.156-162.

23. Mandell R.B. Asymmetric corneal toricity and pseudokeratoconus in videokeratography / R.B. Mandell, C.S. Chiang, L. Yee // J. Am. Optom. Assoc. – 1996. – Vol.67 (9). – P.540-547.

24. Marsack J. Applying wavefront sensors and corneal topography to keratoconus / J. Marsack, T. Milner, G. Rylander [et al.] // Biomed. Sci. Instrum. – 2002. – Vol.38. – P.471-476.

25. McMonnies C.W. Corneal hysteresis using the Ocular Response Analyzer / C.W. McMonnies // Optometry and Vision Science. – 2012. – Vol. 89 (3). – P.1-7.

26. Mikielewicz M. Air-pulse corneal applanation signal curve parameters for the characterisation of keratoconus / M. Mikielewicz, K. Kotliar, R.I. Barraquer, R. Michael // Br J Ophthalmol. – 2011. – Vol.95. – P.793-798.

27. Ohanecian O.G. Change of biomechanical properties of eye after DLEK / O.G. Ohanecian, D.U. Danilova, R.A. Gundorova, M.B. Eremina // Vestnik of ophthalmology. – 2009. – Vol.4. – P.9-11.

28. Rabinowitz Y.S. Keratoconus / Y.S. Rabinowitz // Surv. Ophthalmol. – 1998. – Vol.42 (4). – P.297-319.

29. Rabinowitz Y.S. Videokeratography of the fellow eye in unilateral keratoconus / Y.S. Rabinowitz, A.B. Nesbun, P.J. McDonnell // Ophthalmology. – 1993. – Vol.100 (2). – P.181-186.

30. Reinstein D.Z. Ocular biomechanics: measurement parameters and terminology / D.Z. Reinstein, M. Gobbe, T.J. Archer // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27. – P.396-397.

31. Sergienko N.M. Determining corneal hysteresis and preexisting intraocular pressure / N.M. Sergienko, I.V. Shargorodska // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35. – P.2033-2034.

32. Sergienko N.M. Depth of focus in pseudophakic eyes / N.M. Sergienko, Y.N. Kondratenko, N.N. Tutchenko // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 2007. – Vol.246, №11. – P.1623-1627.

33. Shah S. Assessment of the biomechanical properties of the cornea with the ocular response analyzer in normal and keratoconic eyes / S. Shah, M. Laiquzzaman, R. Bhojwani, S. Mantry, I. Cunliffe // Invest Ophthalmol. Vis Sci. – 2007. – Vol.48. – P.3026-3031.

34. Takacs L. Expression of betaig-h3 is lower than normal in keratoconus corneas but increases with scarring / L. Takacs, A. Csutac, E. Balazs. [et al.] // Cornea. – 1999. – Vol.18 (5). – P.599-605.

35. Wyględowska-Promienska D. Procedure for keratoconus detection according to the Rabinowitz-Rasheed method-personal experience / D. Wyględowska-Promienska, I. Zawojka // Klin. Oczna. – 2000. – Vol.102 (4). – S.241-244.

Шаргородська І.В.

Особливості біомеханічних властивостей тканин ока при кератоконусі

Кафедра офтальмології (зав. каф. проф. Риков С.О.)
 Національної медичної академії післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

ishargorodskamd@hotmail.com

Резюме. *Вступ.* Значні досягнення останніх років в сучасній діагностиці та лікуванні кератоконуса не зняли з порядку денного актуальність даної проблеми, оскільки традиційні уявлення про патогенез кератоконуса не завжди дозволяють ефективно боротися з цим складним і безперервно прогресуючим захворюванням.

Мета дослідження – провести вивчення особливостей біомеханічних властивостей рогівки при кератоконусі.

Матеріали та методи. У статті представлений аналіз вивчення біомеханічних властивостей рогівки при кератоконусі. Обстежено 44 пацієнти (88 очей) з кератоконусом та еметропічною рефракцією. Для визначення біомеханічних показників рогівки проводили порівняльний аналіз між вимірами, які були отримані з використанням декількох способів у одних і тих же пацієнтів: приладу Шемпфлог камери Oculus Pentacam за стандартною методикою і показниками, обчисленими шляхом використання запропонованого нами способу і приладу для оцінки ригідності рогової оболонки ока *in vivo*.

Результати. Відзначено значні переваги використання розробленого нового способу і приладу для оцінки ригідності рогівки *in vivo* у порівнянні з кератотопографією на Шемпфлог камері Oculus Pentacam, що дозволяє не тільки виявити наявність біомеханічних порушень рогівки, а й диференціювати їх характер.

Для опису ступеня змін біомеханічних властивостей рогівки *in vivo* розроблений коефіцієнт ригідності рогівки.

Висновки. Проби з навантаженням дозволяють отримати більш точну інформацію про біомеханічні властивості рогівки в порівнянні зі стандартними дослідженнями на Шемпфлюг камері Oculus Pentacam.

Ключові слова. Кератоконус, біомеханічні властивості, ригідність, коефіцієнт ригідності рогівки, фіброзна оболонка очного яблука.

I.V. Shargorodska

Peculiarities of Biomechanical Properties of Ocular Tissue in Keratoconus

P.L. Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: ishargorodskamd@hotmail.com

Abstract. Considerable achievements having been recently made in modern diagnostics and treatment of keratoconus have not diminished the urgency of the given problem as the traditional views of the pathogenesis of keratoconus do not always allow to struggle effectively with this difficult and continuously progressing disease.

The objective of the research was to study the peculiarities of biomechanical properties of the cornea in keratoconus.

Materials and methods. The article presents the analysis of

studying biomechanical properties of the cornea in keratoconus. 44 patients (88 eyes) with keratoconus and emmetropic refraction were examined. To calculate biomechanical indicators of the cornea there was carried out the comparative analysis between the measurements obtained with the use of several methods in the same patients, namely the Oculus Pentacam-Scheimpflug imaging device by a standard technique and the indicators calculated using the method proposed by us and the device for *in vivo* estimation of corneal rigidity.

Results. Considerable advantages of using the developed method and the device for estimation of corneal rigidity *in vivo* in comparison with keratotopography on the Oculus Pentacam-Scheimpflug camera were registered which allowed us not only to reveal the presence of biomechanical disorders of the cornea, but also to differentiate their character. To describe the degree of changes in biomechanical properties of the cornea *in vivo* the coefficient of corneal rigidity was developed.

Conclusions. Loading tests allow receiving more exact information on biomechanical properties of the cornea in comparison with standard researches on the Oculus Pentacam-Scheimpflug camera.

Keywords: keratoconus; biomechanical properties; rigidity; coefficient of corneal rigidity; fibrous tunic of eyeball

Надійшла: 6.11.2016

Завершено рецензування: 29.11.2016

Прийнято до друку: 9.12.2016

DOI: 10.21802/gmj.2016.4.13

УДК 616-003.93+616.314.-089+616.314.17-008.1

Ярмошук І.Р., Рожко М.М., Пелехан Л.І.

Сучасні підходи до хірургічного лікування хворих на генералізований пародонтит з остеопенією

ДВНЗ «Івано-Франківський національний медичний університет», м. Івано-Франківськ, Україна, zlatoslava2@mail.ru

Резюме. Проблема хірургічного лікування хворих на генералізований пародонтит з остеопенією є особливо актуальною. Численними дослідженнями підтверджуються переваги методик хірургічного лікування із застосуванням остеопластичних матеріалів для стимуляції процесів репарації тканин пародонта. Метою дослідження є підвищення ефективності хірургічного лікування хворих на генералізований пародонтит з остеопенією шляхом поєднаного використання остеопластичного матеріалу й антирезорбенту в перед- та післяопераційному періодах.

Проведено лікування та клінічне спостереження 93 пацієнтів. Пацієнтів було розподілено на три групи. В I групі (20 хворих) хірургічне лікування проводили за загальноприйнятим методом, в II групі (25 хворих) хірургічне лікування проводили з місцевим використанням остеопластичного матеріалу «EasyGraft». В III групі (26 хворих) хірургічне лікування проводили з використанням остеопластичного матеріалу «EasyGraft» й антирезорбенту «Бонвіва». Групу порівняння склали 22 практично здорові особи. Отримані результати доводять, що хірургічне лікування з використанням остеопластичного матеріалу «EasyGraft» та антирезорбенту «Бонвіва» призводить до стійкої стабілізації процесу, що підтверджується показниками біохімічних та сенситометричних досліджень як у ранньому, так і у віддаленому післяопераційному періоді.

Ключові слова: генералізований пародонтит, остеопенія, остеопластичний матеріал, антирезорбент.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.

Генералізований пародонтит (ГП) – поширене захворювання, частота якого збільшується з віком і характеризується запальними й резорбційно-деструктивними процесами у тканинах пародонта хворого. Серед численних факторів, що призводять до виникнення генералізованого пародонтиту, є

остеопенія і остеопороз кісткової тканини щелеп [1,2]. Вивчення взаємозв'язку між метаболічними порушеннями кісткової системи та захворюваннями пародонта є важливим для визначення ролі системних чинників регулювання кісткового метаболізму та обґрунтування фармакологічної корекції дистрофічно-деструктивних процесів у кістковій тканині [3]. Кісткова тканина щелеп виконує опорну функцію тканин пародонта і водночас як складова частина кісткової системи організму є резервним депо мінералів [4]. Хірургічні методи лікування є невід'ємною частиною комплексного лікування ГП. Оперативне лікування захворювань пародонта є найбільш ефективним методом отримання стабільних позитивних результатів [5-7].

Хірургічне лікування при захворюваннях пародонта все ж таки не створює достатніх умов для ліквідації патологічного процесу в кісткових структурах щелепових кісток, бо не враховується мінеральна щільність скелету та особливості метаболізму кісткової тканини у людей різного віку та статі [8-9]. Численними дослідженнями підтверджуються переваги методик хірургічного лікування із застосуванням остеопластичних матеріалів для стимуляції процесів репарації тканин пародонта [10-11].

Мета дослідження - підвищення ефективності хірургічного лікування хворих на ГП з остеопенією шляхом, поєднаного використання остеопластичного матеріалу та антирезорбенту в перед- та післяопераційному періодах.

Матеріал і методи дослідження

Під час дослідження нами було обстежено, проведено лікування та клінічне спостереження у 93 пацієнтів віком від 24 до 65 років. У дослідження не включали хворих на соматичні захворю-