

БИОМЕХАНИКА РОГОВИЦЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕФРАКЦИОННОЙ ХИРУРГИИ

Глазная клиника «Бриз-Л», Баку, Азербайджан
Шинагава ЛАСИК Центр, Токио, Япония*

Ключевые слова: биомеханические параметры роговицы

В настоящее время для коррекции различного рода как первичных, так и вторичных аметропий широкое распространение получила рефракционная хирургия [1-3]. Количество подобных операций неуклонно растет. В связи с этим биомеханика роговицы все больше и больше привлекает внимание офтальмологов.

Биомеханические свойства роговицы определяются ответной реакцией и деформацией роговицы на давление извне, которая, зависит от вискоэластических свойств роговицы.

Влияние центральной толщины роговицы (ЦТР) на измерение ВГД хорошо известно. В их числе как переоценка ВГД в глазах с толстой роговицей, так и недооценка на глазах с тонкой роговицей [4,5]. В основе биомеханического поведения роговицы ее фиброзное строение. Известно, микроструктура стромы роговицы с возрастом проходит определенные видоизменения, что приводит к увеличению жесткости ткани роговицы.

Близорукость является наиболее распространенной аномалией рефракции по всему миру, особенно в Восточной Азии. Близорукость неразрывно связана с биомеханикой глаза, особенно роговицы и в исследованиях ассоциируется с ее толщиной.

Известны публикации, в которых исследователи установили тесную взаимосвязь между рефракционной погрешностью (РП) и биомеханическими свойствами роговицы. Но, несмотря на полученные данные, в целом, на сегодняшний день данная проблема остается причиной споров многих ученых [6]. Между тем, общеизвестно, что биомеханические свойства роговицы влияют на прогнозирование и стабильность результатов рефракционной хирургии.

Целью исследования явилась оценка биомеханической ответной реакции роговицы через призму ВГД с учетом ЦТР, возраста и РП, с использованием приборов «ORA» и «Corvis ST»

Материалы и методы исследования

Исследование основано на результатах обследования 917 пациентов (1777 глаз) с близорукостью. Средний возраст пациентов составлял 34 ± 8.4 лет (от 20 до 65 лет). Все пациенты прошли полное офтальмологическое обследование.

Для оценки биомеханических свойств роговицы использовались параметры оценки на аппаратах «ORA» (Reichert Ophthalmic Instruments, Inc., Buffalo, NY, USA) и «Corvis ST» (Oculus Optikgeräte, Wetzlar, Germany).

Анализатор биомеханических свойств роговицы (ORA) основан на принципе двунаправленной аппланации роговицы струей воздуха, который позволяет оценить биомеханический ответ роговицы на основании разницы давления в момент прямого и обратного прохождения точки аппланации, вычисляя два таких показателя, как корнеальный гистерезис и фактор резистентности роговицы (Рис 1, А).

Корнеальный гистерезис (КГ, *corneal hysteresis, CH*) характеризует вязко-эластические свойства роговицы, обуславливающие частичное поглощение энергии воздушной струи.

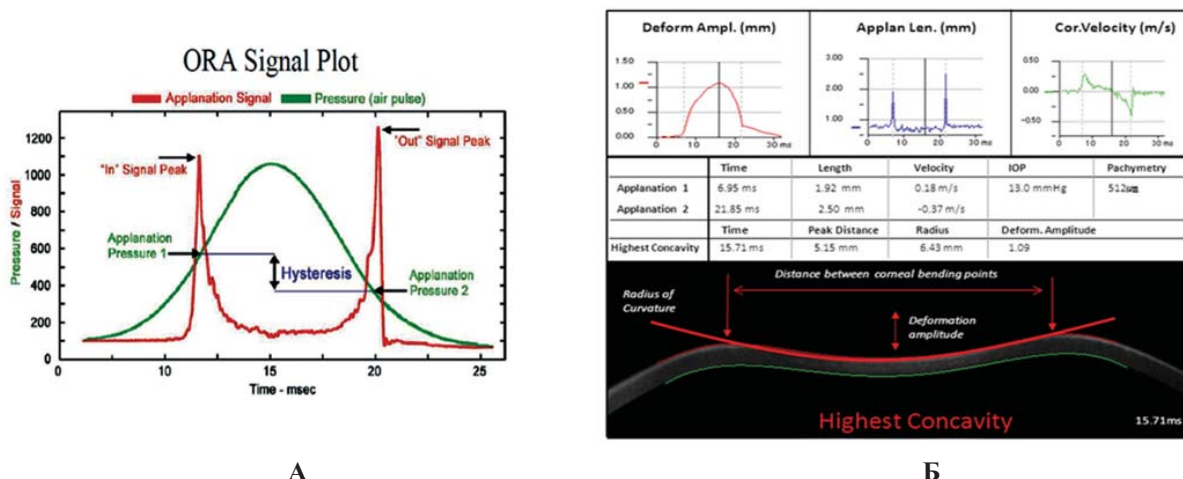
Фактор резистентности роговицы (ФРР, *corneal resistance factor, CRF*) – расчетный показатель, коррелирующий с центральной толщиной роговицы, что также отражает ее упругие свойства.

Corvis ST – бесконтактный тонометр, который измеряет не только ВГД и толщину роговицы, но также обеспечивает дополнительной информацией, визуализируя биомеханическую реакцию роговицы на воздушном импульсе. В числе биомеханических показателей роговицы, определяемых Corvis ST - параметры максимальной вогнутости роговицы (*Highest Concavity*), амплитуда деформации (АД, *deformation amplitude, DA*), дистанция (Дист., *distance, Dist*), радиус кривизны, (РК, *radius of curvature, RadCurv*). Встроенная в него быстродействующая камера (Шеймпфлюг) при этом записывает движения роговицы (Рис 1. б).

ЦТР была измерена ультразвуковым пахиметром (Contact-pachymeter SP-3000, Tomey Corp, Nagoya, Japan).

Среднее значение манифестной рефракции сферического эквивалента (МРСЭ) было -4.88 ± 2.33 Д (от -0.13 до -16.75 Д).

Роговично-компенсированное ВГД (ВГД-рк) было измерено на аппарате «ORA». При этом биомеханические параметры роговицы классифицировались нами по трем группам с разницей диапазона ВГД-рк в 3 mm Hg. Из них в 1 группе ВГД-рк составило 10-13 mm Hg, во 2 группе -14-17mm Hg, в 3 группе 18-21mm Hg. Каждая из групп в свою очередь была подразделена на 3 подгруппы, где в основу были взяты различные диапазоны ЦТР, возраста пациентов и МРСЭ.



А

Б

Рис. 1. А – Процесс сигнала «ORA»;
Б – Параметры роговицы неоперированного глаза пациента на аппарате «Corvis ST»

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты исследований биомеханических свойств роговицы с учетом параметров ВГД, ЦТР, возраста и РП представлены ниже.

Демографическая информация о пациентах отражена в таблице 1.

Таблица 1

Демографическая информация о пациентах

Общее количество, n = 1777 (глаз)	ВГД-рк		
	Группа I (от 10 до 13), n = 594	Группа II (от 14 до 17), n = 867	Группа III (от 18 до 21), n = 316
Подгруппы			
ЦТР подгруппа			
1 (от 465 до 510µm)	n = 172	n = 504	n = 49
2 (от 510 до 555µm)	n = 281	n = 329	n = 172
3 (от 555 до 600µm)	n = 141	n = 34	n = 95
Возрастная подгруппа			
1 (от 20 до 35 лет)	n = 352	n = 504	n = 187
2 (от 35 до 50 л.)	n = 213	n = 329	n = 111
3 (от 50 до 65 л.)	n = 29	n = 34	n = 18
МРСЭ подгруппа			
1 (от 0.00 до -3.00 Д)	n = 107	n = 171	n = 71
2 (от -3.00 до -6.00 Д)	n = 338	n = 436	n = 132
3 (от 00 Д и выше)	n = 149	n = 260	n = 113

n - число глаз; Д - диоптрия; ВГД-рк - роговично-компенсированное внутриглазное давление; ЦТР - центральная толщина роговицы; МРСЭ - манифестная рефракция сферического эквивалента

Анализ биомеханических параметров роговицы выявил значительную разницу показателей между некоторыми подгруппами, которые отражены в таблице 2, 3.

Таблица 2

Статистическая значимость «Corvis ST» биомеханических параметров роговицы между подгруппами с различными диапазонами манифестной рефракции сферического эквивалента, возраста и центральной толщины роговицы

ВГД-рк Группы/ Подгруппы (1,2,3)	Подгруппы/ «Corvis ST» биомеханические параметры роговицы								
	МРСЭ, Д			Возраст			ЦТР, μm		
	АД, mm	Дист, mm	РК, mm	АД, mm	Дист, mm	РК, mm	АД, mm	Дист, mm	РК, mm
I (1, 2, 3)	< 0.0001	0.04	< 0.0001	0.009	0.12	0.002	< 0.0001	0.29	< 0.0001
II (1, 2, 3)	< 0.0001	0.25	0.008	0.12	0.18	0.0002	0.12	0.18	0.0002
III (1, 2, 3)	0.01	0.63	0.03	0.02	0.009	0.57	0.0003	0.46	0.0003

Д - диоптрия; АД - амплитуда деформации; Дист - расстояние между точками изгиба роговицы; РК - радиус кривизны; МРСЭ - манифестная рефракция сферического эквивалента; ЦТР - центральная толщина роговицы

Таблица 3

Статистическая значимость «ORA» биомеханических параметров роговицы между подгруппами с различными диапазонами манифестной рефракции сферического эквивалента, возраста и центральной толщины роговицы

ВГД-рк Группы/ Подгруппы (1,2,3)	Подгруппы/ «ORA» биомеханические параметры роговицы					
	МРСЭ, Д		Возраст		ЦТР, μm	
	КГ, mmHg	ФРР, mmHg	КГ, mmHg	ФРР, mmHg	КГ, mmHg	ФРР, mmHg
I (1, 2, 3)	0.75	0.58	0.25	0.28	< 0.0001	< 0.0001
II (1, 2, 3)	0.29	0.37	0.21	0.13	0.21	0.13
III (1, 2, 3)	0.94	0.85	0.97	0.95	< 0.0001	< 0.0001

Д - диоптрия; КГ - корнеальный гистерезис; ФРР - фактор резистентности роговицы; МРСЭ - манифестная рефракция сферического эквивалента; ЦТР - центральная толщина роговицы

Результаты сравнения КГ, ФРР, АД и РК между одноименными ЦТР, МРСЭ и возрастными подгруппами каждой ВГД-рк группы отражены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Статистическая значимость «Corvis ST» биомеханических параметров роговицы между одноименными подгруппами каждой ВГД-рк группы

ВГД-рк Группы (I, II, III)	Подгруппы/ «Corvis ST» биомеханические параметры роговицы								
	МРСЭ, Д			Возраст, л			ЦТР, μm		
Нумерация подгрупп	АД, mm	Дист, mm	РК, mm	АД, mm	Дист, mm	РК, mm	АД, mm	Дист, mm	РК, mm
1.	< 0.0001	0.97	0.005	< 0.0001	0.16	< 0.0001	< 0.0001	0.74	< 0.0001
2.	< 0.0001	0.57	< 0.0001	< 0.0001	0.26	0.0002	< 0.0001	0.78	< 0.0001
3.	< 0.0001	0.22	< 0.0001	< 0.0001	0.17	0.58	< 0.0001	0.16	0.0002

Д - диоптрия; АД - амплитуда деформации; Дист. - расстояние между точками изгиба роговицы; РК - радиус кривизны; МРСЭ - манифестная рефракция сферического эквивалента; ЦТР - центральная толщина роговицы

Статистическая значимость «ORA» биомеханических параметров роговицы между одноименными подгруппами каждой ВГД-рк группы

ВГД-рк Группы (I, II, III)	Подгруппы/«ORA» биомеханические параметры роговицы					
	МРСЭ, Д		Возраст, л		ЦТР, μm	
Нумерация подгрупп	КГ, mmHg	ФРР, mmHg	КГ, mmHg	ФРР, mmHg	КГ, mmHg	ФРР, mmHg
1.	< 0.0001	0.0006	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
2.	< 0.0001	0.001	< 0.0001	0.004	< 0.0001	< 0.0001
3.	< 0.0001	0.09	< 0.0001	0.91	< 0.0001	0.009

Д - диоптрия; КГ - корнеальный гистерезис; ФРР - фактор резистентности роговицы; МРСЭ - манифестная рефракция сферического эквивалента; ЦТР = центральная толщина роговицы

Сравнительный анализ полученных данных выявил статистически достоверную значительную разницу биомеханических показателей роговицы ($p < 0.0001$).

Были проанализированы и проведена корреляция между биомеханическими параметрами роговицы с ВГД-рк, ЦТР, МРСЭ и возраста пациентов. При этом ВГД-рк негативно коррелировало с АД ($r = -0.521$, $p < 0.0001$), КГ ($r = -0.408$, $p < 0.0001$) и положительно коррелировало с ФРР ($r = 0.117$, $p < 0.0001$) и РК ($r = 0.169$, $p < 0.0001$). ЦТР негативно коррелировало с АД ($r = -0.190$, $p < 0.0001$) и положительно коррелировало с КГ ($r = 0.45$, $p < 0.0001$), ФРР ($r = 0.49$, $p < 0.0001$), и РК ($r = 0.22$, $p < 0.0001$). МРСЭ негативно коррелировало только с АД ($r = -0.127$, $p < 0.0001$), и положительно коррелировало с РК ($r = 0.18$, $p < 0.0001$). Возраст пациентов положительно коррелировал с КГ ($r = 0.05$, $p = 0.03$), ФРР ($r = 0.06$, $p = 0.01$), АД ($r = 0.09$, $p = 0.0003$), и РК ($r = 0.10$, $p < 0.0001$). Расстояние между точками изгиба роговицы (Дист.) положительно коррелировало только с ЦТР и МРСЭ ($r = 0.049$, $p = 0.04$, $r_s = 0.11$, $p = 0.03$).

Полученные результаты в целом совпали с данными ранее опубликованных работ, в которых было указано, что КГ не коррелирует ни с одним из рефракционных параметров, в особенности, у пациентов с близорукостью [7]. Однако, также известны работы, свидетельствующие о значительной корреляции биомеханических свойств роговицы со степенью близорукости. Между тем, основываясь на полученные нами результаты, можно заключить, что только параметры наивысшей вогнутости роговицы при исследованиях на «Corvis ST», могут выявлять значительную связь (статистически достоверную) биомеханических свойств роговицы с МРСЭ.

Как известно, упругость роговицы усиливается с возрастом, что связано с возрастными изменениями микроструктуры и коллагеновых фибрилл роговицы. К примеру, в возрастном диапазоне между 40 и 80 годами увеличивается диаметр фибрилл, а межфибрилярно-коллагеновое пространство уменьшается, что ведет к увеличению объема фибриллярной фракции [8]. При этом механизм, ответственный за возрастные биомеханические изменения, которые обуславливают усиление упругости роговицы, не следует отождествлять и путать с теми изменениями, которые происходят в роговице в результате лечения процедурой кросслинкинг [9]. Тем не менее, возрастные изменения роговицы влияют на ее биомеханику, что подтвердилось нашими результатами. Но следует также признать, что наши результаты не абсолютны и могут варьировать в некоторых случаях. Так, например, в работе Kirwana... было указано на отсутствие разницы биомеханических параметров роговицы между детьми и взрослыми, что могло свидетельствовать о том, что биомеханические свойства роговицы не меняются в течение жизни [10].

В настоящее время, учитывая возрастающую частоту рефракционной хирургии роговицы, в сфере научных исследований возрастает актуальность и интерес влияния ВГД на биомеханику роговицы. Известно, ЦТР влияет на точность измерения ВГД посредством аппланационного тонометра [11]. При толстой роговице требуется повышенная аппланация и наоборот, тонкая роговица требует более легкой. Изменения стромы роговицы, возникающие вследствие рефракционной хирургии, несомненно, влияют на параметры ВГД [12]. Таким образом, рефракционная хирургия влияет на биомеханические свойства роговицы, так как в процессе хирургического лечения происходят значительные структурные и биологические изменения роговицы.

Заклучение

Для благоприятного исхода рефракционной хирургии офтальмохирург должен твердо понимать базисную структуру роговицы и ее ответную реакцию в динамике на различные процедуры.

Результаты данной работы ориентированы на правильную оценку биомеханики роговицы с учетом ВГД, характеристики ЦТР, возраста и МРСЭ. Знание взаимосвязи между биомеханикой роговицы и такими показателями, как ВГД, ЦТР, МРСЭ поможет нам в будущем избежать неверного истолкования результатов обследования пациентов на практике.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Alio' J.L., Pe'rez-Santonja J.J., Artola A. Surgical correction of myopia / In: Nema VH, Nema M, eds, Recent Advances in Ophthalmology. New Delhi, India: Jaypee Brothers, 1996; v.3, p.1–30
2. Sugar A. Ultrafast (femtosecond) laser refractive surgery // Curr Opin Ophthalmol, 2002, v.13, p.246–249
3. Pallikaris IG, Siganos DS. Laser in situ keratomileusis to treat myopia: early experience. J Cataract Refract Surg 1997; 23(1):39–49
4. Doughty MJ, Zaman ML; Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. Surv Ophthalmol 44(5):367-408, 2000
5. Chang SW, Tsai IL, Hu FR, Lin LL, Shih YF. The cornea in young myopic adults. Br J Ophthalmol 2001; 85(8): 916–920.
6. David P. Pinero, Jorge L. Alio, Rafael I. Barraquer, Ralph Michael, Ramon Jimenez, Corneal Biomechanics, Refraction, and Corneal Aberrometry in Keratoconus: An Integrated Study, Invest Ophthalmol, 2010;51:1948–195
7. Malik N. S., Moss S. J., Ahmed N. et al. 1992 Ageing of the human corneal stroma: structural and biochemical changes // Biochim. Biophys. Acta, v.1138(3), p.222–228.
8. Spoerl E., Huhle M., Seiler T. Induction of cross-links in corneal tissue // Exp Eye Res., 1998, v.66(1), p.97–103.
9. Kirwan C., O'Keefe M., Lanigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the Reichert ocular response analyzer // Am. J Ophthalmol 2006, v.142(6), p.990-992.
10. Ehlers N., Bramsen T., Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness // Acta Ophthalmol., 1975, v.53(1), p.34.
11. Mardelli P.G., Piebenga L.W., Whitacre M.M. et al. The effect of excimer laser photorefractive keratectomy on intraocular pressure measurements using the Goldmann applanation tonometer // Ophthalmology, 1997, v.104, p.945–948.
12. Hersh P.S., Brint S.F., Maloney R.K. et al. Photorefractive keratectomy versus laser in situ keratomileusis for moderate to high myopia; a randomized prospective study // Ophthalmology, 1998, v.105(8), p.1512-1522.

Hüseynova T.S., Roberts S.J.*, IV Voring J.O.*, Tomita M.*

BUYNUZ QIŞASININ BIOMEXANİKASININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ REFRAKTİV CƏRRAHİYYƏNİN DÜZGÜN PROQNOZLAŞDIRILMASI

«Briz-L» göz klinikası Bakı, Azərbaycan
Shinagawa LASIK Center, Tokyo, Japan*

Açar sözlər: *buynuz qişasının biomekanik parametrləri*

XÜLASƏ

Məqsəd - əməliyyat olunmamış gözlərdə buynuz qişanın biomekanikasının dəyərləndirilməsi.

Material və metodlar

Elmi işdə 917 xəstənin, 1777 gözü müayinə olunmuşdur. Korneal kompensator göz içi təzyiqə (GİTkk) əsasən 3 qrup müəyyənləşdirilmişdir, qrup I (10-13mmHg), qrup II (14-17mmHg), və qrup III (18-21mmHg). Hər qrup buynuz qişasının mərkəzi qalınlığına, yaşına və sferik ekvivalentin manifest refraksiyasına əsasən 3 alt qrupa bölünmüşdür. Buynuz qişasının biomexanikasını dəyərləndirmək üçün ORA və Corvis ST aparatlardan istifadə olunmuşdur.

Nəticə

GİTkk buynuz qişanın qalınlığına, yaşa, sferik ekvivalentin manifest refraksiyasına əsaslanaraq buynuz qişasının biomexanikası ilə güclü korrelyasiya edir.

Huseynova T.S., Roberts C.J.*, Wiring IVth G.O.*, Minoru T.*

CORNEAL BIOMECHANICS AND THE RIGHT APPROACH TO REFRACTIVE SURGERY PROGNOSIS

*“Briz-L” eye clinic Baku, Azerbaijan
Shinagawa LASIK Center, Tokyo, Japan**

Key words: *corneal biomechanical parameters*

SUMMARY

Aim – to assess corneal biomechanical response in non-operated eyes.

Material and methods

1777 eyes of 917 patients were included in our study. Based on corneal compensated intraocular pressure (IOPcc) 3 groups were established, group I (10-13mmHg), group II (14-17mmHg), and group III (18-21mmHg). Each group was classified into 3 subgroups according to the range of central corneal thickness (CCT), age, and manifest refraction spherical equivalent (MRSE). For corneal biomechanical response evaluation ocular response analyzer (ORA) and Corvis ST were used.

Conclusion

IOPcc is strongly correlated with corneal biomechanical responses with characterization of CCT, MRSE, and age.

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Гусейнова Тукезбан Самед кызы, врач-офтальмолог глазной клиники «Бриз-Л», Баку, Азербайджан

Adres: AZ1106, Əlizadə küç.46

E mail: administrator@eye.az.



немецкое качество
без консервантов

pharma **STULLN**

Difen[®] UD

Diclofenac-Natrium 1mg/ml

- Глазные капли без консервантов
- Нестероидное противовоспалительное средство
- Быстро облегчает спонтанную боль
- Уменьшает воспалительный отек, возникший в результате инфекции, травмы и/или хирургического вмешательства