

УДК 617.7-007.681-07:617.713-008.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РОГОВИЦЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТОНОМЕТРИИ**Сергей Эдуардович АВЕТИСОВ, Ирина Алексеевна БУБНОВА, Алексей Анатольевич АНТОНОВ***ГУ НИИ глазных болезней РАМН
119021, г. Москва, ул. Россолимо, 11*

Точность определения внутриглазного давления (ВГД) зависит от биомеханических свойств роговицы. На результаты тонометрии оказывают влияние толщина, кривизна роговицы, ее вязко-эластические свойства. Исследована зависимость показателей тонометрии от биомеханических свойств роговицы с оценкой их клинического значения для диагностики глаукомы. Исследование проведено в выборке из 150 пациентов (268 глаз) с первичной открытоугольной нормотензивной глаукомой и подозрением на глаукому. Выполняли исследование биомеханических свойств роговицы с помощью ее двунаправленной аппланации, тонометрию по Маклакову, пневмотонометрию и электронную тонографию. При увеличении толщины роговицы показатель внутриглазного давления, аналогичный тонометрии по Гольдману, возрастал в среднем на 4,5 мм рт. ст., пневмотонометрии — на 6,2 мм рт. ст., роговично-компенсированное ВГД практически не изменялось, показатель тонометрии по Маклакову увеличивался на 3,1 мм рт. ст. Достоверное различие показателей тонометрии отмечено при использовании тонометра Маклакова на «плоских» роговицах. Офтальмотонус, измеренный электронным тонографом, имеет отрицательную корреляционную связь с радиусом кривизны передней поверхности роговицы. У пациентов с первичной открытоугольной нормотензивной глаукомой и подозрением на глаукому необходимо проведение кератопахиметрии, офтальмотометрии и исследования биомеханических свойств роговицы.

Ключевые слова: внутриглазное давление, тонометрия, биомеханика, роговица, склера, глаукома.

Исследования последних лет показывают, что точность определения внутриглазного давления традиционными методами в значительной степени зависит от биомеханических свойств роговицы [1–3]. На результаты тонометрии оказывают влияние толщина, кривизна роговицы, ее вязко-эластические свойства. Так, возможное влияние толщины роговицы на показатели различных методов тонометрии доказано рядом исследований, проведенных у пациентов, которым была выполнена рефракционная эксимерлазерная абляция роговицы [4–7]. В настоящее время отсутствуют надежные методы прижизненной оценки биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза, и от этого страдает точность тонометрических исследований. Данной проблеме посвящено много работ, предложен ряд коэффициентов для пересчета ВГД в зависимости от толщины роговицы и рефракции глаза пациента.

Благодаря прибору Ocular Response Analyzer (ORA) фирмы Reichert появилась возможность оценивать вязко-эластические свойства роговицы с помощью ее двунаправленной аппланации. Прогибаясь внутрь под воздействием воздушной струи и возвращаясь к первоначаль-

ному положению, роговица дважды проходит стадию относительного уплощения, при этом определяется величина давления в обеих точках аппланации. На основании этих данных рассчитываются два показателя ВГД: аналогичный тонометрии по Гольдману (IOPg) и роговично-компенсированный (IOPcc). Одновременно определяются два параметра, отражающие биомеханические свойства роговицы: фактор резистентности роговицы (CRF), характеризующий ее упругие свойства и прямо коррелирующий с ее толщиной, и роговичный гистерезис (CH), который отражает способность роговицы поглощать энергию воздушного импульса, то есть вязко-эластические свойства [8]. Роговично-компенсированное ВГД позиционируется создателями прибора как не зависящее от биомеханических свойств роговицы.

Цель исследования — изучить зависимость показателей тонометрии от биомеханических свойств роговицы и оценить их клиническое значение для диагностики глаукомы.

Материал и методы

Исследование проведено в выборке из 150 пациентов (268 глаз), в которую вошли пациенты с первичной открытоугольной нор-

*Аветисов С.Э. — директор, проф., д.м.н., e-mail: info@eyeacademy.ru
Бубнова И.А. — н.с., e-mail: bubnovai@mail.ru
Антонов А.А. — младш.н.с., e-mail: niigb@narod.ru*

мотензивной глаукомой и подозрением на глаукому без сопутствующей офтальмологической патологии, кроме начальной катаракты, с показателями величины переднезадней оси (ПЗО) от 22 до 25 мм.

Комплексное обследование включало визометрию, рефрактометрию, офтальмометрию, биомикроскопию, тонометрию, компьютерную статическую периметрию, гониоскопию, офтальмоскопию. Тонометрия выполнялась несколькими способами, с соблюдением интервалов, необходимых для восстановления гидродинамики глаза и свойств оболочек.

При исследовании биомеханических свойств роговицы с помощью ее двунаправленной аппланации фиксировали показатель ВГД, близкий к таковому при тонометрии по Гольдману (IOPg) и роговично-компенсированное давление (IOPcc). Всем пациентам проводили измерение центральной толщины роговицы (ЦТР) ультразвуковым пахиметром. В зависимости от толщины роговицы были условно разделены на «тонкие» (менее 520 мкм), «средние» (521–570 мкм) и «толстые» (более 570 мкм).

Тонометрию по Маклакову проводили грузом массой 10 г. Измерение диаметра сегмента сплющивания роговицы выполняли по отпечаткам с помощью штангенциркуля. В расчетах использовали показатель тонометрии, соответствующий истинному ВГД в мм рт. ст., определяемый по таблицам Нестерова-Вургафта [9].

Пневмотонометрия выполнялась с помощью тонометра Сапон. Для анализа использовали среднее значение для трех измерений, вычисляемое прибором.

При проведении электронной тонографии с помощью прибора ТНЦ-100 фиксировали показатель истинного внутриглазного давления.

Для определения кривизны роговицы всем пациентам выполняли офтальмометрию, по результатам которой роговицы были условно разделены на «плоские» (менее 41 дптр), «средние» (от 41 до 45 дптр) и «крутые» (более 45 дптр).

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Microsoft Office Excel 2003, рассчитывали средние значения и среднеквадратичное отклонение. Коэффициент корреляции по Спирмену вычисляли для исходных рядов данных. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

При исследовании зависимости показателей тонометрии от толщины роговицы получены результаты, представленные в **таблице 1**.

При увеличении толщины роговицы показатель ВГД, аналогичный тонометрии по Гольдману, заметно увеличивался — в среднем на 4,5 мм рт. ст. при сравнении групп с «тонкой» и «толстой» роговицей. Аналогичные результаты получены нами для пневмотонометрии, где разница составила 6,2 мм рт. ст. в основном за счет значительного занижения показателя ВГД на глазах с «тонкими» роговицами.

Роговично-компенсированное ВГД в данной выборке было практически равным в группах с различной толщиной роговицы, что подтверждает высокую информативность исследования с помощью двунаправленной аппланации.

Показатель тонометрии по Маклакову грузом массой 10 г, соответствующий истинному ВГД, зависит от толщины роговицы, однако ее влияние минимально в сравнении с пневмотонометрией и аналогом тонометрии по Гольдману. Увеличение толщины роговицы в среднем на 99 мкм привело к среднему увеличению показателя офтальмотонуса на 3,1 мм рт. ст.

Худшие результаты в нашем исследовании показал электронный тонограф. Зависимость показателя истинного ВГД от толщины роговицы небольшая, однако точность определения офтальмотонуса, по-видимому, низкая. Очевидно, использование тонографии ведет к гиподиагностике повышенного ВГД.

Влияние кривизны роговицы на результаты различных тонометров не столь очевидно. Вероятно, оно связано с конструкцией

Таблица 1

Зависимость показателей ВГД от толщины роговицы ($M \pm \sigma$)

Характеристика толщины роговицы	Показатели тонометрии, мм рт. ст.					Толщина роговицы, мкм
	ORA IOPg	ORA IOPcc	Тонометр Маклакова	Пневмо- тонометр	Электронный тонограф	
«Тонкие»	17,0 ± 4,5	19,5 ± 4,8	18,2 ± 5,2	14,7 ± 3,8	12,8 ± 3,4	500 ± 16
«Средние»	19,7 ± 4,6	20,3 ± 4,9	20,1 ± 4,3	18,0 ± 4,6	15,2 ± 3,6	546 ± 13
«Толстые»	21,5 ± 4,4	19,9 ± 4,3	21,3 ± 5,7	20,9 ± 5,8	15,6 ± 3,5	599 ± 23

Таблица 2

Зависимость показателей ВГД от кривизны роговицы ($M \pm \sigma$)

Характеристика кривизны роговицы	Показатели тонометрии, мм рт. ст.					Кривизна роговицы, дптр
	ORA IOPg	ORA IOPcc	Тонометр Маклакова	Пневмотонометр	Электронный тонограф	
«Плоские»	20,8 ± 5,9	19,8 ± 5,1	18,8 ± 4,0	18,9 ± 5,9	13,4 ± 5,0	39,8 ± 0,9
«Средние»	20,0 ± 3,7	20,0 ± 3,5	20,2 ± 4,7	18,3 ± 4,2	14,5 ± 3,5	43,2 ± 0,5
«Крутые»	19,9 ± 3,9	20,3 ± 3,7	20,6 ± 4,4	19,3 ± 4,1	15,7 ± 4,6	45,8 ± 0,7

тонометров и способом воздействия на роговицу. Аппланационные и импрессионные тонометры при уменьшении радиуса кривизны роговицы должны повышать свои показания, у первых это связано с меньшим пятном контакта при более выпуклой поверхности, у вторых — с несоответствием кривизны опорной площадки и поверхности роговицы (табл. 2).

По нашим данным, достоверное различие показателей тонометрии отмечено при использовании тонометра Маклакова на «плоских» роговицах. Внутриглазное давление, измеренное электронным тонографом, имеет отрицательную корреляционную связь с радиусом кривизны передней поверхности роговицы.

Для других показателей тонометрии значимых зависимостей нами не выявлено, что позволяет говорить о несущественном влиянии кривизны роговицы на результаты пневмотонометрии и исследования биомеханических свойств роговицы с помощью ее двунаправленной аппланации.

Заключение

Таким образом, исследована зависимость показателей тонометрии от биомеханических свойств роговицы. Выявлены существенные закономерности влияния толщины и кривизны роговицы на измерение ВГД привычными способами и с помощью двунаправленной аппланации роговицы. Различие показателей тонометрии по Маклакову, пневмотонометрии и IOPg в зависимости от толщины роговицы и данных тонометра Маклакова для «плоских» роговиц достоверно, что влияет на точность диагностики глаукомы. Необходимо проведение кератопахиметрии, офтальмометрии и исследования биомеханических свойств роговицы с помощью ее двунаправленной аппланации у пациентов с первичной открытоугольной нормотензивной глаукомой и подозрением на глаукому.

Измерение ВГД с помощью электронного тонографа ТНЦ-100 не может быть рекомен-

довано для использования в клинической практике в связи со значительным различием с данными других методов и гиподиагностикой повышенного ВГД.

Литература

1. Congdon N.G., Broman A.T., Bandeen-Roche K. et al. Central corneal thickness and corneal hysteresis associated with glaucoma damage // Am. J. Ophthalmol. 2006. 141. (5). 868–875.
2. Dave H., Kutschan A., Pauer A. et al. Measurement of corneal thickness in glaucoma patients. Ophthalmologie. 2004. 101. (9). 919–924.
3. Kotecha A., Elsheikh A., Roberts C.R. et al. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2006. 47. (12). 5337–5347.
4. Аветисов С.Э., Петров С.Ю., Бубнова И.А., Аветисов К.С. Влияние толщины роговицы на показатели различных методов тонометрии // Современные методы диагностики и лечения заболеваний роговицы и склеры. М., 2007. 240–242.
5. Avetisov S.E., Petrov S.Yu., Bubnova I.A., Avetisov K.S. Impact of the central corneal thickness on the results of tonometry // Actual methods of diagnostics and treatment of the diseases of the cornea and sclera. M., 2007. 240–242.
6. Chihara E., Takahashi H., Okazaki K. et al. The preoperative intraocular pressure level predicts the amount of underestimated intraocular pressure after LASIK for myopia // Br. J. Ophthalmol. 2005. 89. (2). 160–164.
7. Kohlhaas M., Spoerl E., Boehm A.G. et al. A correction formula for the real intraocular pressure after LASIK for the correction of myopic astigmatism // J. Refract. Surg. 2006. 22. (3). 263–267.
8. Pepose J.S., Feigenbaum S.K., Qazi M.A. et al. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry // Am. J. Ophthalmol. 2007. 143. (1). 39–47.
9. Luce D.A. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer // J. Cataract Refract. Surg. 2005. 31. (1). 156–162.
10. Нестеров А.П., Вургафт М.Б. Калибровочные таблицы для эластотонометра Филатова-Кальфа // Вестн. офтальмол. 1972. 88. (2). 20–25.
11. Nesterov A.P., Vurgaft M.B. Calibration tables for the Filatov-Kalf elastometer // Vestn. oftalmol. 1972. 88. (2). 20–25.

THE STUDY OF THE EFFECT OF THE CORNEAL BIOMECHANICAL PROPERTIES ON THE INTRAOCULAR PRESSURE MEASUREMENT

Sergei Eduardovich AVETISOV, Irina Alekseevna BUBNOVA, Aleksei Anatolievich ANTONOV

*State research institute of eye diseases RAMS
11, Rossolimo st., Moscow, 119021*

The accuracy of intraocular pressure (IOP) measurement depends on the central corneal thickness, corneal curvature and its viscoelastic properties. The aim: to establish correlation between intraocular pressure indices and biomechanical properties of the cornea and clinical value of the latter for diagnostics of glaucoma. The IOP was measured in 268 eyes of 150 patients with primary openangle glaucoma (POAG), normaltension glaucoma (NTG) and glaucoma suspects by the bidirectional applanation of the cornea, the Maklakov's tonometer, noncontact tonometer (NCT) and electronic tonography. With increasing of the central corneal thickness Goldmann-correlated IOP increased on 4.5 mm Hg on average, IOP measured with NCT increased on 6.2 mm Hg, corneal-compensated IOP (IOPcc) was stable and IOP measured with Maklakov's tonometer increased on 3.1 mm Hg. The difference between IOP measured with the Maklakov's tonometer and IOPcc in patients with «plate» corneas was reliable. We established negative correlation between results of the electronic tonography and the corneal curvature. In our opinion, keratopachymetry, ophthalmometry and bidirectional applanation of the cornea with ORA should be performed in patients with the POAG, NTG and glaucoma suspects.

Key words: intraocular pressure, tonometry, biomechanics, cornea, sclera, glaucoma.

Avetisov S.E. — director, professor, doctor of Medicine, e-mail: info@eyeacademy.ru

Bubnova I.A. — research fellow, e-mail: bubnovai@mail.ru.

Antonov A.A. — research fellow