

Новое о статике и гидродинамике здоровых и глаукомных глаз

Г.М. Столяров, А.А. Атаманенко

ГБОУ ВПО «Омская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Резюме

Цель: провести анализ корреляции статических и гидродинамических показателей у лиц с условно здоровыми глазами, с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) в начальной стадии и с развитой стадией глаукомы.

Методы: были обследованы пациенты с начальной и развитой стадиями ПОУГ, а также лица без глаукомы. Средний возраст пациентов составил $66,4 \pm 8,3$ года. Были проанализированы такие параметры, как ЦТР, ПЗО, ВГД и коэффициент ригидности фиброзной капсулы.

Результаты: в глазах без глаукомного процесса отсутствует связь ЦТР и коэффициента ригидности фиброзной капсулы. В глазах с начальной стадией имеется выраженная корреляция между показателями ЦТР и ПЗО. Коэффициент ригидности имеет положительную корреляцию средней силы с показателем ПЗО. В развитой стадии полностью утрачивается связь между показателями ЦТР и ПЗО.

Заключение: изменение взаимосвязи исследованных показателей глаза в зависимости от стадии глаукомного процесса можно использовать для оптимизации диагностики и лечения заболевания на ранних стадиях.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, центральная толщина роговицы, ригидность фиброзной капсулы, тонометрия.

Abstract

New in statics and hydrodynamics of healthy and glaucomatous eyes

G.M. Stolyarov, A.A. Atamanenko

GBOU VPO Omsk State Medical Academy

Purpose: to carry out analysis of correlation between static and dynamic indices in healthy and glaucoma patients.

Methods: Patients with initial and developed stages of glaucoma and healthy subjects were examined. Central corneal thickness (CCT), anterior-posterior corneal size (APCS), IOP level and the index of fibrous capsule rigidity were evaluated.

Results: 31 patients were enrolled into the first group (healthy subjects), 33 patients – into the second one (initial stage of glaucoma), 30 patients – into the third group (developed stage of glaucoma). There was no correlation between CCT and of the index of fibrous capsule rigidity. In the second group there was a strong correlation between CCT and APCS. Index of fibrous capsule rigidity has a positive correlation with APCZ. In the third group correlation between CCT and APCZ is not detected.

Conclusion: Studied correlations between the indices may be used for optimization of diagnostics and treatment of early stages of glaucoma.

Key words: POAG, central corneal thickness, rigidity of a fibrous capsule, tonometry.

Глаукома – группа заболеваний, характеризующихся постоянным или периодическим повышением внутриглазного давления (ВГД), вызванным нарушением оттока водянистой влаги из глаза, с последующим развитием специфических дефектов поля зрения и атрофии (с экскавацией) зрительного нерва [10].

В России, по данным ЦНИИОИЗ Минздравсоцразвития РФ на 2010 г., зарегистрировано в абсолютных числах 1 102 777 больных глаукомой старше 18 лет, или 951,2 на 100 тыс. взрослого населения. Для Омской области эти цифры составили в абсолютных значениях 22 480 заболевших старше 18 лет, или 1374,2 на 100 тыс. взрослого населения [9].

Причинами постоянного внимания к этому заболеванию служат его значительная распространенность, серьезный прогноз и трудности ранней диагностики. Повышение эффективности диагностики, диспансерного наблюдения глаукомных больных является актуальной проблемой современной офтальмологии [14].

Роговица представляет собой прозрачную часть фиброзной оболочки, составляющую 1/6 площади поверхно-

сти глаза (1,3 см²) и имеющую больший радиус кривизны, чем склера [30]. Толщина роговицы в центре равна 0,52 мм, а по периферии – 0,67 мм. У новорожденных ее толщина больше, чем у детей первого года жизни, что связывают со становлением в этот период времени функции эндотелиальных клеток [30, 31, 33].

Центральная толщина роговицы (ЦТР) как источник существенной погрешности измерения ВГД заслуживает пристального внимания и изучения. По мнению большинства исследователей, все существующие на сегодняшний день методы измерения ВГД имеют погрешность, связанную с индивидуальными особенностями значений толщины роговицы у каждого конкретного больного. Причем наличие этой погрешности может вести как к гипердиагностике глаукомы (при «толстой» роговице) с назначением пожизненного лечения, так и к недооценке ее проявлений и, соответственно, поздней диагностике при «тонкой» роговице [6, 31, 32].

На сегодняшний день в офтальмологии не сформулированы конкретные рекомендации для дифференцированного подхода к схемам снижения ВГД при глаукоме в за-

висимости от толщины роговицы. В последние годы появились исследования, предполагающие, что значение ЦТР у конкретного больного выходит за рамки простой погрешности при измерении ВГД. Ряд исследователей отнесли ЦТР к факторам риска развития и прогрессирования глаукомы, однако мнения по этому вопросу противоречивы [26, 29].

Толщина роговицы в среднем колеблется в диапазоне 510–580 мкм [2]. Но предпринятые попытки корректировать диагностический поиск в связи с показателями ЦТР пока приводят к противоречивым результатам. Авторы пришли к выводу, что решить эту проблему возможно с учетом взаимосвязи показателя ЦТР с некоторыми другими биомеханическими свойствами роговицы и гидродинамическими показателями [2].

Величина ВГД зависит от объема содержимого глаза и ригидности его оболочек [15]. Исследование ригидности оболочек глаза необходимо для получения достоверной информации о величине ВГД. По данным литературы, ригидность корneosклеральной оболочки глаза зависит от индивидуальных линейных размеров глазного яблока, а также толщины роговицы [1, 4, 8, 11, 12, 17, 20].

Метод исследования заключается в регистрации кривой глазного пульса (офтальмосфигмометрия) с использованием для этого датчика одного веса. Для вычисления показателя ригидности берется одна пульсовая волна глазного пульса. Для каждой волны определяются следующие величины: Pt_{max} – тонометрическое давление в систолу, Pt_{min} – тонометрическое давление в диастолу, V_{max} – объем глазного яблока в систолу, V_{min} – объем глазного яблока в диастолу.

Коэффициент ригидности (Е) определяется по формуле:

$$E = \frac{\ln Pt_{max} - \ln Pt_{min}}{V_{max} - V_{min}}.$$

Данный способ позволяет повысить точность измерений, т.к. исследование выполняется однократно, при использовании датчика постоянного веса. Существенно уменьшается длительность исследования, т.к. для определения показателя ригидности достаточно одной волны глазного пульса. Кратковременность процедуры позволяет отслеживать ригидность глаза в динамике при снижении ВГД, в частности, в ходе тонографии [16].

Известен ставший классическим способ расчета ригидности при помощи дифференциальной тонометрии по Friedenwald [29], которая позволяет вычислить данный коэффициент из соотношения между изменениями ВГД и объема глазного яблока с использованием тонометров разного веса по формуле:

$$E = \frac{\ln Pt_2 - \ln Pt_1}{V_2 - V_1},$$

где Е – показатель ригидности глаза; Pt_2 – тонометрическое давление при использовании тонометра Шюотца большего веса; Pt_1 – тонометрическое давление при использовании тонометра Шюотца меньшего веса; V_2 – объем смещаемой при тонометрии жидкости при использовании тонометра Шюотца большего веса; V_1 – объем смещаемой при тонометрии жидкости при использовании тонометра Шюотца меньшего веса.

Таким образом, числитель содержит разность натуральных логарифмов давлений при использовании тонометра Шюотца большего и меньшего весов, а знаменатель – разность объемов смещаемой жидкости при использовании тонометра Шюотца тех же весов [29].

Имеются работы, в которых сообщается об исследованиях с участием пациентов с эметропией [3]. Среднее значение показателя ригидности оболочек глаза было равно $0,021 \pm 0,003$, что соответствует общепринятым нормативным данным. Данное значение показателя ригидности соответствовало передне-заднему размеру глазного яблока, который был равен $23,0 \pm 0,4$ мм, и толщине роговицы $545 \pm 26,8$ мкм. Указанной величине ригидности и данным анатомическим параметрам соответствовала величина истинного ВГД, которая была равна $14,2 \pm 0,27$ мм рт. ст. [3].

Также авторами на основании полученных данных были сделаны выводы, что показатель ригидности корneosклеральной оболочки глаза возрастает с увеличением толщины роговицы и возраста пациентов. С увеличением передне-заднего размера глазного яблока показатель ригидности глаза снижается [3]. Наиболее сильная корреляция отмечалась между ВГД и величиной ригидности. Коэффициент корреляции был равен $0,6$ ($P < 0,01$) [3].

При измерении офтальмотонуса с учетом ригидности корneosклеральной оболочки (P_0 , Е) по данным динамической дифференциальной тонометрии необходимо отметить отсутствие влияния ЦТР на ВГД. Корреляционная зависимость между этими показателями статистически недостоверна ($P > 0,05$) [3].

Отмечается достоверная обратная зависимость между величинами скорректированного ВГД (P_0 , Е) и сагиттального передне-заднего размера глазного яблока ($r = 0,23$; $p < 0,05$) [3]. При исследовании корреляции между P_0 , Е, СПЗР и центральной толщиной роговицы, а также между P_0 , Е, СПЗР и сагиттальным размером глаза у обследованных лиц зависимость была статистически недостоверной ($P > 0,05$) [3]. Таким образом, показатель ригидности корneosклеральной оболочки глаза выступает как интегральный показатель, учитывающий влияние многих факторов (возраст, толщина роговицы, передне-задний размер глазного яблока) [3].

Данные факты свидетельствуют о том, что необходимо учитывать ригидность корneosклеральной оболочки глаза во взаимодействии с гемодинамическими показателями в условиях их корреляции для диагностического поиска.

ВГД – давление, под которым находится содержимое глазного яблока в замкнутой полости его плотных оболочек – роговицы и склеры. Постоянный уровень ВГД определяется главным образом гидродинамическим балансом между притоком и оттоком внутриглазной жидкости [14]. Определение величины ВГД имеет большое значение в диагностике глаукомы. ВГД – наиболее значимый фактор риска глаукомной оптической нейропатии, снижение которого достоверно уменьшает опасность ее развития и прогрессирования [27].

Измерение ВГД производится путем регистрации деформации глазного яблока в ответ на механическое воздействие на роговицу. Большинство применяемых методов измерения ВГД основаны на принципе аппланации (тонометр Маклакова, Гольдмана, пневмотонометрия) или импрессии (тонометр Шюотца). Определяемый показатель зависит не только от уровня ВГД, но и от упругих свойств оболочек глаза [13, 17, 18]. В формулах для калибровки большинства распространенных тонометров использованы средние значения показателей, характеризующих биомеханические свойства глазного яблока. Однако данные свойства значительно варьируют в популяции, что снижает точность определения ВГД.

Единственный абсолютно точный метод измерения ВГД (истинного) – манометрический. Для измерения давления в переднюю камеру через роговицу вставляют иглу манометра, проводя прямые замеры. Этот способ, естественно, не применим в клинической практике.

Приложение к глазу определенной силы (уплощение или вдавление роговицы) неизбежно влияет на гидродинамику в камерах глаза. Происходит вытеснение определенного объема влаги из камер. Чем больше этот объем, тем больше получаемый показатель отличается от истинного ВГД (P_0). Полученный таким образом результат называется тонометрическим давлением (P_t) [19]. В России наиболее часто используют тонометрию по Маклакову и бесконтактную тонометрию. Кроме того, в некоторых медицинских учреждениях используют тонометры Гольдмана и тонометры Паскаля [7].

Истинное внутриглазное давление позволяют определить четыре метода – тонометры Гольдмана, бесконтактный тонометр, и тонометр Паскаля. Несмотря на то, что эти инструменты также оказывают определенное давление на оболочки глаза при измерении, считается, что влияние их на динамику офтальмотонуса минимально. Так, например, тонометр Гольдмана при измерении вытесняет из камер глаза влагу в объеме 0,5 мкл. Это приводит к завышению цифр давления примерно на 3%, что при средних цифрах ВГД отличается от истинного уровня ВГД менее чем на 1 мм рт. ст. Принято считать эту разницу незначительной, а потому внутриглазное давление, измеренное такими приборами, называют истинным [7].

Цели исследования: провести анализ корреляции статистических и гидродинамических показателей у лиц с условно здоровыми глазами, а также с ПОУГ в начальной и развитой стадиях.

Методы исследования: определение коэффициента ригидности корneosклеральной капсулы (Е), истинного ВГД (P_0) проводилось с помощью электронного офтальмотонографа GlauTest-60 в режиме дифференциальной тонометрии по стандартной методике. Определение ЦТР и передне-заднего размера (оси) глазного яблока (ПЗО) проводилось с помощью офтальмологического УЗИ-аппарата Nidek US-4000 Echoscanner по стандартной методике. Измерения проводились на базе БУЗ ОО «КОБ им. В.П. Выходцева» среди условно здоровых пациентов ($n=31$), у пациентов с начальной стадией без лечения ($n=33$), у пациентов при развитой стадии ПОУГ без лечения ($n=30$). Расчет показателей проводился с помощью программы StatSoft Statistica, использовался коэффициент корреляции Пирсона. Для вычисления уровня значимости критерия использовался вероятностный калькулятор Statistica.

Результаты

Данные пациентов без глаукомы (условно здоровые).

В глазах без глаукомного процесса не наблюдаются корреляционные взаимосвязи между исследованными параметрами ЦТР, ПЗО, Е и P_0 . Наиболее показательным отсутствием связи ЦТР и коэффициента ригидности, что ставит под сомнение прямую зависимость между толщиной и биомеханическими свойствами фиброзной капсулы глаза (таблица 1).

Начальная стадия глаукомы. Были проанализированы показатели ЦТР, ПЗО, Е и P_0 глаз с ПОУГ (таблица 2). Как видно из результатов, имеется статистически достоверная корреляция между показателями ЦТР и ПЗО. Коэффициент ригидности имеет положительную корреляцию средней силы с показателем ПЗО. Примечателен факт отсутствия связи между показателями Е и ЦТР. ВГД зависит только от коэффициента ригидности (положительная связь средней силы).

Развитая стадия глаукомы. Были проанализированы корреляционные взаимосвязи таких показателей, как ЦТР, ПЗО, Е и P_0 . Рассчитана связь этих параметров друг с другом, но уже в глазах с ПОУГ в развитой стадии (таблица 3).

При развитой стадии ПОУГ полностью утрачивается связь между показателями ЦТР и ПЗО. При отсутствии лечения антиглаукомными препаратами усиливается связь ВГД и коэффициента ригидности фиброзной капсулы.

Выводы:

1. Связь показателей ВГД и коэффициента ригидности не определяется при отсутствии глаукомного процесса. Она начинает появляться у пациентов с начальной стадией глаукомы и достигает максимальной выраженности в развитой стадии.

2. Воздействие на коэффициент ригидности фиброзной капсулы глаза может привести к снижению уровня офтальмотонуса у глаукомных больных.

Таблица 1. Взаимосвязь некоторых параметров фиброзной капсулы глаз без глаукомы без лечения ($n=31$)

Показатели	Без лечения	
ЦТР/ПЗО	$r=-0,1$	$p=0,8$
Е/ПЗО	$r=0$	$p=1$
P_0 /ПЗО	$r=0,3$	$p=0,1$
Е/ЦТР	$r=0,1$	$p=0,7$
P_0 /ЦТР	$r=-0,2$	$p=0,5$
P_0 /Е	$r=0$	$p=0,9$

ЦТР – центральная толщина роговицы (мкм),
ПЗО – передне-задняя ось глаза (мм),
 P_0 – истинное ВГД,
Е – коэффициент ригидности фиброзной капсулы по Friedenwald

Таблица 2. Взаимосвязь параметров фиброзной капсулы глаза при начальной стадии ПОУГ без лечения ($n=33$)

Показатели	Без лечения	
ЦТР/ПЗО	$r=0,7$	$p=0,0005$
Е/ПЗО	$r=0,4$	$p=0,08$
P_0 /ПЗО	$r=0,3$	$p=0,2$
Е/ЦТР	$r=0$	$p=1$
P_0 /ЦТР	$r=0,1$	$p=0,6$
P_0 /Е	$r=0,4$	$p=0,01$

Таблица 3. Взаимосвязь некоторых параметров фиброзной капсулы глаз при развитой стадии ПОУГ без лечения ($n=30$)

Показатели	Без лечения	
ЦТР/ПЗО	$r=0$	$p=1$
Е/ПЗО	$r=-0,1$	$p=0,8$
P_0 /ПЗО	$r=0$	$p=1$
Е/ЦТР	$r=0,1$	$p=0,6$
P_0 /ЦТР	$r=0,3$	$p=0,3$
P_0 /Е	$r=0,5$	$p=0,003$

3. Показатели ЦТР и длины ПЗО глаза связаны между собой только в начальной стадии глаукомы.

Литература

1. Аветисов С.Э., Петров С.Ю., Бубнова И.А. и др. Влияние центральной толщины роговицы на результаты тонометрии // *Вестник офтальмологии*. 2008. Т. 124. № 5. С. 3–7.
2. Алексеев В.Н., Литвин И.Б. Толщина роговицы как фактор риска развития первичной открытоугольной глаукомы // *РМЖ. Приложение. Клиническая офтальмология*. 2009. № 3. С. 86–88.
3. Балалин С.В., Фокин В.П., Маковкин Е.М. К вопросу о ригидности корнеосклеральной оболочки у лиц без глазной патологии в зависимости от биометрических показателей глаза // *Практическая медицина. Офтальмология*. 2012. Т. 2. № 59. С. 245–249.
4. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. и др. Влияние толщины роговицы на пневмотонометрические показатели внутриглазного давления // *Офтальмохирургия*. 2005. № 1. С. 31–33.
5. Вит В.В. *Строение зрительной системы человека*. Одесса: Астропринт, 2003. 664 с.
6. Егоров Е.А., Васина М.В. Влияние толщины роговицы на уровень внутриглазного давления среди различных групп пациентов // *Клин. офтальмология*. 2006. № 1. С. 16–19.
7. Егорова Е.А., Астахова Ю.С., Щуко А.Г. *Национальное руководство по глаукоме*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 280 с.
8. Еремина М.В., Еричев В.П., Якубова Л.В. Влияние центральной толщины роговицы на уровень внутриглазного давления в норме и при глаукоме (обзор) // *Глаукома*. 2006. № 4. С. 78–83.
9. Заболеваемость населения России в 2010 году. Статистические материалы. Часть IV / ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Росздрава. М., 2011. С. 46.
10. *Клинические рекомендации. Офтальмология* / под ред. Л.К. Мошетовой, А.П. Нестерова, Е.А. Егорова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. С. 238.
11. Куроедов А.В., Городничий В.В. Центральная толщина роговицы как фактор риска прогрессирования первичной открытоугольной глаукомы // *Глаукома*. 2008. № 4. С. 20–28.
12. Нероев В.В., Ханджян А.Т., Зайцева О.В. Новые возможности в оценке биомеханических свойств роговицы и измерении внутриглазного давления // *Глаукома*. 2006. № 1. С. 51–56.
13. Нестеров А.П. *Глаукома*. М.: Медицина, 1995. 256 с.
14. Нестеров А.П. *Глаукома*. М.: Медицина, 2008.
15. Нестеров А.П., Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А. *Внутриглазное давление. Физиология и патология*. М., 1974. 384 с.
16. Патент на изобретение РФ № 2070815 от 27.12.1996.
17. Светлова О. В., Засева М. В., Кошиц И. Н. Ригидность склеры – достоверный критерий оценки уровня и диапазона скачков ВГД в здоровых и глаукомных глазах: Материалы VIII съезда офтальмологов России. М., 2005. С. 214.
18. Фокин В. П., С. В. Балалин, А. В. Гуцин, А. И. Шава. *Современные методы диагностики и лечения заболеваний роговицы и склеры*. М., 2007. С. 304–307.
19. Becker B., Shaffer R. *Diagnosis and therapy of glaucomas*. St. Louis. The C.V.Mosby Company, 8e, 2009.
20. Brandt J.D., Beiser J.A., Gordon M.O. et al. Central corneal thickness and measured IOP response to topical ocular hypotensive medication in the ocular hypertension treatment study // *Am.J. Ophthalmol.* 2004. Vol. 138. № 5. P. 717–722.
21. Broman A.T., Congdon N.G., Bandeen-Roche K. et al. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure // *Glaucoma*. 2007. Vol. 16. № 1. P. 581–588.
22. Doughty M.J., Zaman M.X. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and metaanalysis approach // *Surv. Ophthalmol.* 2000. Vol. 44. № 5. P. 367–408.
23. Ehlers N., Bramsen T., Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness // *Acta Ophthalmol. (Copenh)*. 1975. Voh 53. № 1. P. 34–43.
24. Feltgen N., Leifert D., Funk J. Correlation between central corneal thickness, applanation tonometry, and direct intracameral IOP readings // *Br.J. Ophthalmol.* 2001. Vol. 85. № 1. P. 85–87.
25. Harada Y., Hirose N., Kubota T. et al. The influence of central corneal thickness and corneal curvature radius on the intraocular pressure as measured by different tonometers: noncontact and goldmann applanation tonometers // *Glaucoma*. 2008. Vol. 17. № 8. P. 619–625.
26. Herndon L.W., Choudhri S.A., Cox T. et al. Central corneal thickness in normal glaucomatous and ocular hypertensive eyes // *Arch.Ophthalmol.* 1997. Vol. 115. P. 1137–1141.
27. Leske M. C., Heijl A., Hussein M. et al. Factors for glaucoma progression and the effect of treatment: the early manifest glaucoma trial. // *Arch. Ophthalmol.* 2003. Vol. 121. P. 48–56.
28. Kohlhaas M., Boehm A.G., Spoerl E. et al. Effect of central corneal thickness, corneal curvature, and axial length on applanation tonometry // *Arch. Ophthalmol.* 2006. Vol. 124. № 4. P. 471–476.
29. Konstas A.G., Irkec M.T., Teus M.A. et al. Mean intraocular pressure and progression based on corneal thickness in patients with ocular hypertension. // *Eye*. 2007. № 23. P. 73–78.
30. Lowenstein O., Lowenfeld I. E. The pupil. In: *The Eye*, 2nd edition (ed. H. Davson). New York: Academic Press, 1969. P. 231–241.
31. Raynaud C, Bonicel P, Rigal D., Kantelip B. Anatomie de la cornee. In: *Encycl. Ved. Chir Elsevier, Paris, Ophtalmologie*, 21-003-A-10, 1996. 7 p.
32. Shah S., Chatterjee A., Mathai M., et. al. Relationship between corneal thickness and intraocular pressure in a general ophthalmology clinic // *Ophthalmology*. 1999. Vol. 106. P. 2154–2160.
33. Tripathi R.C., Tripathi B.J. Anatomy of the human eye, orbit and adnexa. In: *The Eye*. 3rd ed. (ed. H. Davson). London: Academic Press, 1984. P. 40, 157.