

Выбор метода измерения внутриглазного давления для оценки гипотензивной эффективности антиглаукомных операций

Витков А.А., младший научный сотрудник; <https://orcid.org/0000-0001-7735-9650>

ХДЕРИ Х., к.м.н., младший научный сотрудник; <https://orcid.org/0000-0003-4563-5651>

АГАДЖАНЯН Т.М., младший научный сотрудник; <https://orcid.org/0000-0001-8275-3740>

АКИМОВ А.М., ординатор; <https://orcid.org/0000-0002-9193-0582>

АСИНОВСКОВА И.И., ординатор; <https://orcid.org/0000-0003-2893-0173>

КОМАРОВ А.А., аспирант; <https://orcid.org/0000-0003-4570-7512>

СЕМЕНОВ Е.Д., ординатор. <https://orcid.org/0009-0007-5416-2063>

ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11А.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Витков А.А., Хдери Х., Агаджанян Т.М. и соавт. Выбор метода измерения внутриглазного давления для оценки гипотензивной эффективности антиглаукомных операций. *Национальный журнал глаукома*. 2023; 22(2):39-43.

Резюме

Цель — сравнить показатели разных методов тонометрии до хирургического лечения глаукомы и в раннем послеоперационном периоде.

Исследование проведено в группе из 50 пациентов (50 глаз) в возрасте от 55 до 80 лет с некомпенсированной первичной открытоугольной глаукомой, которые поступали в стационар для проведения антиглаукомной операции. Выполняли исследование с помощью двунаправленной пневмоаппланации роговицы на биомеханическом анализаторе Ocular Response Analyzer, бесконтактную тонометрию прибором Canon TX-20P и измерение тонометром Icare. Эти исследования проводили за день до проведения антиглаукомного вмешательства, на следующий день и также через 2 недели после операции.

При высоких значениях внутриглазного давления (ВГД) (до проведения антиглаукомной операции) были выявлены достоверные различия тонометрических показателей между всеми используемыми приборами. Также были выявлены достоверные различия в показателях ВГД при тонометрии Icare в центральной зоне роговицы и на средней периферии в носовом и височном

секторах. На следующий день после операции достоверная разница между показателями сохранялась, за исключением показателей Icare. Через 2 недели после операции тонометрические показатели между собой достоверно не различались.

Роговично-компенсированное ВГД является наиболее важным в клиническом плане тонометрическим показателем, поскольку учитывает индивидуальные особенности фиброзной оболочки глаза пациентов. При обследовании пациентов с глаукомой этот показатель достоверно отличается при некомпенсированном ВГД, что важно для определения правильной тактики лечения. При оценке ВГД после операции данная тенденция сохранялась, что указывает на систематическую недооценку офтальмотонуса (переоценку эффекта операции). Достоверность исследования подтверждается результатами исследования на парных неоперированных глазах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двунаправленная пневмоаппланация роговицы, пневмотонометрия, точечная контактная тонометрия, динамика тонометрических показателей, антиглаукомная операция.

Для контактов:

Витков Александр Александрович, e-mail: avitkov.niigb@gmail.com

ORIGINAL ARTICLE

The choice of IOP measurement method for assessing the effectiveness of glaucoma surgery

VITKOV A.A., junior researcher at the Department of Glaucoma; <https://orcid.org/0000-0001-7735-9650>

HADIRI KH., Cand. Sci. (Med.), junior researcher at the Department of Glaucoma; <https://orcid.org/0000-0003-4563-5651>

AGHAJANYAN T.M., junior researcher at the Department of Glaucoma; <https://orcid.org/0000-0001-8275-3740>

AKIMOV A.M., clinical resident; <https://orcid.org/0000-0002-9193-0582>

ASINOVSKOVA I.I., clinical resident; <https://orcid.org/0000-0003-2893-0173>

KOMAROV A.A., postgraduate student; <https://orcid.org/0000-0003-4570-7512>

SEMENOV E.D., clinical resident. <https://orcid.org/0009-0007-5416-2063>

Krasnov Research Institute of Eye Diseases, 11A Rossolimo St., Moscow, Russian Federation, 119021.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Vitkov A.A., Hadiri Kh., Aghajanyan T.M. et al. The choice of IOP measurement method for assessing the effectiveness of glaucoma surgery. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(2):39-43.

Abstract

Purpose of this study – to compare the results of different tonometry methods before surgical treatment of glaucoma and in the early postoperative period.

The study was conducted on a group of 50 patients (50 eyes) aged 55 to 80 years with uncompensated primary open-angle glaucoma, who were admitted to in-patient department for glaucoma surgery. Patients were examined using bidirectional applanation tonometry of the cornea performed on Ocular Response Analyzer, pneumotonometry on Canon TX-20P device, and with Icare tonometer. These studies were carried out on the day before the surgery, the next day, and 2 weeks after the operation.

Significant differences in tonometry readings were revealed between all tested devices at high intraocular pressure (IOP) levels (before glaucoma surgery). Significant differences were also found in IOP values obtained with Icare tonometer in the central zone of the cornea and in the middle periphery in the nasal and temporal sectors.

A significant difference between the indicators remained on the next day after surgery, except for the Icare readings. After two weeks, the tonometric parameters did not differ significantly from each other.

Corneal compensated IOP (IOPcc) is the most important tonometric indicator in clinical practice because it takes into account the individual biomechanical characteristics of the patient's cornea. When examining patients with glaucoma, the IOPcc indicator significantly differed in uncompensated IOP, which is important for determining the correct treatment tactics. When assessing the level of IOP after surgery this trend persisted, indicating a systematic underestimation of IOP level (overestimation of the effect of glaucoma surgery). The reliability of the study is confirmed by the results of measurements on unoperated fellow eyes (control).

KEYWORDS: bidirectional applanation, pneumotonometry, rebound tonometry, tonometry results, glaucoma surgery.

Глаукома является хронической оптиконейропатией, которая приводит к прогрессирующей атрофии зрительного нерва. Единственным модифицируемым фактором риска развития и прогрессирования глаукомы является повышенный уровень внутриглазного давления (ВГД) [1]. Его точное измерение играет важную роль в диагностике и последующем наблюдении за пациентами с глаукомой.

В настоящее время в клинической практике используется множество тонометров, способных быстро измерить уровень офтальмотонуса без при-

менения местных инстилляционных анестетиков. Наиболее распространенным методом бесконтактной тонометрии в России считается пневмотонометрия. Доступность приборов и простота выполнения позволяет считать этот метод оптимальным для скринингового обследования пациентов. Недостатком метода считается высокая зависимость тонометрических показателей от биомеханических свойств роговицы [2]. Как правило, пневмотонометрия у пациентов с глаукомой показывает более низкие значения офтальмотонуса, что может приводить к переоценке эффективности проводимого лечения.

Таблица 1. ТонOMETрические показатели пациентов до антиглаукомной операции.

Table 1. Tonometry readings before glaucoma surgery.

Анализируемый показатель ВГД Analyzed IOP parameter	День до операции (день 0) / Day before surgery (day 0)	
	Оперированные глаза / Operated eyes	Неоперированные глаза / Unoperated eyes
IOРсс	25,8 [20,6; 38,4]	17,8 [13,4; 22,4]
IOРg	24,6 [19,3; 37,3]	15,6 [12,4; 20,6]
Пневмотонометрия / Pneumotonometry	22,4 [16,7; 34,5]	13,9 [9,8; 19,0]
Icare _{центр} / Icare _{center}	25 [18,5; 37]	16,0 [13,0; 20,0]
Icare _{нос} / Icare _{nasal}	24,0 [17; 36,5]	15,0 [11,0; 19,0]
Icare _{висок} / Icare _{temp}	23 [18; 33]	14,0 [12,0; 18,0]

Способ двунаправленной аппланации роговицы (прибор Ocular Response Analyzer, ORA, Reichert, США) позволяет оценивать вязко-эластические свойства роговицы и рассчитывать уровень офтальмотонуса с учетом их значений. Прибор показал высокую диагностическую ценность при тонометрии у пациентов после кераторефракционных операций [3]. По результатам тонометрии возможен расчет коэффициента биомеханического напряжения фиброзной оболочки глаза (Kbs). Он может использоваться при оценке компенсации уровня ВГД [4].

Еще одним способом тонометрии, не требующим использования местной анестезии, является контактная точечная тонометрия. Так, тонометр Icare (Tiolat, Финляндия) основан на определении динамики отскока легкого наконечника от глазной поверхности [5]. Прибор является портативным и позволяет проводить исследование в положении лежа [6]. В литературе имеются указания на занижение показателей тонометрии данным прибором у пациентов с глаукомой, особенно на фоне гипотензивного лечения [7].

Цель настоящего исследования — сравнить результаты тонометрии и их динамику с помощью тонометров Canon и Icare, и сопоставить их с показателями офтальмотонуса, определяемыми с помощью двунаправленной пневмоаппланации роговицы у пациентов, перенесших антиглаукомную операцию.

Исследование проведено в группе из 50 пациентов (100 глаз) в возрасте от 55 до 80 лет (средний возраст 66,5 лет), среди них было 24 мужчины (48%) и 26 женщин (52%). В исследование включали пациентов с некомпенсированной глаукомой, которым проводилось хирургическое лечение глаукомы в условиях стационара. В основную группу вошли 50 глаз, на которых проводилась антиглаукомная операция. В контрольную группу входили парные глаза, на которых хирургические вмешательства не проводились.

Критериями исключения из исследования являлись: патологические изменения роговицы; рефракционные нарушения высокой степени; роговичный астигматизм более 1 дптр; острота зрения менее 0,1, то есть состояния, препятствующие получению достоверных результатов с помощью используемых приборов.

Пациентам выполняли последовательно исследование с помощью двунаправленной пневмоаппланации роговицы на биомеханическом анализаторе ORA, пневмотонометрию прибором TX-20P (Canon, Япония), а также тонометром Icare (Tiolat, Финляндия). Все измерения проводили за день до проведения антиглаукомной операции (день 0), на следующий день (день 1) и через 14 дней (день 14).

Все измерения проводили в положении пациента сидя. При исследовании с помощью двунаправленной пневмоаппланации пациент располагался за прибором и фиксировал взгляд на зеленой точке, окруженной красными метками. Голова пациента прилегалась к опоре, смещенной в крайнее (правое или левое) положение, перпендикулярно к передней поверхности прибора. Пациента просили несколько раз моргнуть, а затем держать оба глаза открытыми, расслабиться, не задерживать дыхание и подготовиться к повторяющемуся касанию воздухом глаза. Выполняли не менее трех измерений на каждом глазу, добиваясь результатов с показателем качества (WS) более 7,0. Регистрировали показатель ВГД, аналогичный тонометрии по Гольдману (англ. IOРg) и роговично-компенсированное, то есть не зависящее от биомеханических свойств роговицы ВГД (англ. IOРсс). Биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза оценивали по показателю фактора резистентности роговицы (англ. CRF), характеризующего в основном ее упругие свойства, и роговичного гистерезиса (англ. CH), который отражает способность роговицы поглощать энергию воздушного импульса, то есть вязко-эластические свойства.

При тонометрии с помощью прибора Icare просили пациента расслабиться и смотреть прямо вперед на указанную точку. Подносили тонометр к глазу пациента. Центральный желоб находился в горизонтальном положении, а расстояние от кончика зонда до роговицы составляло от 4 до 8 мм. Нажимали кнопку запуска измерения, стараясь избежать дрожания тонометра. Кончик датчика касался центральной части роговицы. Выполняли серию из шести измерений, по которой прибор автоматически рассчитывал среднее значение, используемое в анализе результатов. Затем повторяли исследование на средней периферии роговицы в носовом (Icare_{нос}) и височном секторе (Icare_{висок}).

Таблица 2. ТонOMETрические показатели на следующий день после антиглаукомной операции.
Table 2. Results of tonometry on the next day after glaucoma surgery.

Анализируемый показатель ВГД Analyzed IOP parameter	Первый послеоперационный день (день 1) / First day after surgery (day 1)	
	Оперированные глаза / Operated eyes	Неоперированные глаза / Unoperated eyes
ИОР _{сс}	10,1 [6,4; 14,5]	17,3 [13,0; 22,0]
ИОР _г	8,1 [3,4; 11,9]	15,4 [12,0; 20,1]
Пневмотонометрия / Pneumotonometry	7,6 [6,4; 8,7]	14,0 [11,2; 18,1]
Icare _{центр} / Icare _{center}	8,0 [5,0; 10,0]	15,0 [11,0; 19,0]
Icare _{нос} / Icare _{nasal}	6,5 [5,0; 9,0]	13,0 [10,0; 17,0]
Icare _{висок} / Icare _{temp}	7,0 [4,0; 9,0]	13,0 [10,0; 16,0]

Таблица 3. ТонOMETрические показатели через 14 дней после антиглаукомной операции.
Table 3. Results of tonometry after 14 days glaucoma surgery.

Анализируемый показатель ВГД Analyzed IOP parameter	Две недели после операции (день 14) / Day 14 after surgery	
	Оперированные глаза / Operated eyes	Неоперированные глаза / Unoperated eyes
ИОР _{сс}	10,9 [8,8; 13,0]	17,1 [12,4; 21,0]
ИОР _г	8,6 [6,8; 12,0]	15,3 [11,3; 20,0]
Пневмотонометрия / Pneumotonometry	8,0 [7,2; 11,8]	12,5 [9,1; 15,3]
Icare _{центр} / Icare _{center}	9,0 [8,0; 11,75]	15,0 [12,0; 18,0]
Icare _{нос} / Icare _{nasal}	8,0 [7,0; 11,0]	13,5 [11,25; 15,0]
Icare _{висок} / Icare _{temp}	8,0 [6,5; 10,25]	13,0 [11,0; 16,0]

Статистическую обработку данных выполняли в программном комплексе IBM SPSS Statistics версии 21.0.0.0. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро – Уилка и оценки асимметрии и эксцесса. Значимость изменений показателей ВГД оценивали с помощью критерия знаковых рангов Уилкоксона для связанных выборок. Изменения считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Большинство исходных показателей ВГД (кроме ИОР_{сс} и Icare_{центр}) не принадлежали нормальному распределению. Исходные значения ВГД в основной и контрольной группах достоверно различались (табл. 1). В первой группе оно было достоверно выше, чем во второй — 25,8 [20,6; 38,4] и 17,8 [13,4; 22,4] мм рт.ст. для ИОР_{сс}, соответственно.

В обеих группах ИОР_{сс}, ИОР_г, результаты пневмотонометрии и Icare_{центр} достоверно отличались друг от друга. Показатель ИОР_{сс} в случаях некомпенсированной глаукомы был достоверно выше остальных показателей. В обеих группах Icare_{нос} и Icare_{висок} не отличались друг от друга. Однако в основной группе оба периферических исследования отличались от Icare_{центр}; в контрольной же группе от Icare_{центр} отличалось измерение Icare_{висок}.

У всех пациентов основной группы была достигнута хирургическая компенсация ВГД. Все тонOMETрические показатели достоверно изменились. В контрольной группе этих изменений выявлено не было. Все показатели ВГД по-прежнему различались между двумя группами (табл. 2). В основной группе сохранялась достоверная разница ИОР_{сс}, ИОР_г, результатов пневмотонометрии и Icare_{центр}. Однако теперь как в основной, так и в контрольной группах показатели Icare в центре и на периферии достоверно не отличались друг от друга.

В контрольной группе все тонOMETрические показатели остались прежними. В основной группе все параметры достоверно изменились по сравнению с результатами в первый день после хирургического вмешательства (табл. 3). В обеих группах значимо не отличались друг от друга ИОР_г, Icare_{центр} и данные пневмотонометрии. Также в обеих группах достоверно не отличались друг от друга показатели Icare_{центр}, Icare_{висок} и Icare_{нос}.

В послеоперационном периоде отмечена тенденция к снижению ИОР_{сс} как на следующий день после АГО, так и через 2 недели. В контрольной группе достоверного изменения ИОР_{сс} не было выявлено (рис. 1).

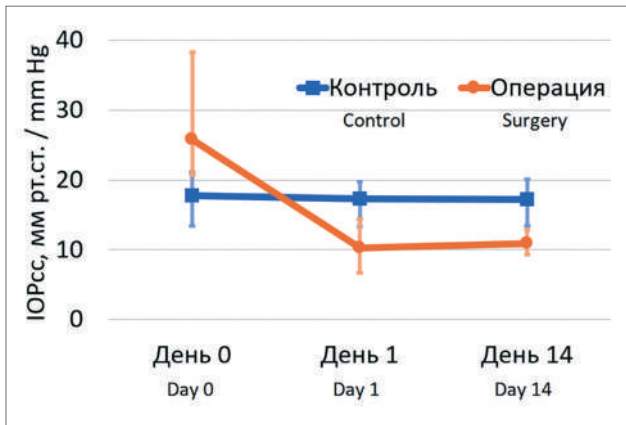


Рис 1. Динамика IOPcc в послеоперационном периоде.
Fig. 1. Changes in IOPcc with time during the postoperative period.

По результатам проведенного обследования все тонометрические показатели в день 0 и день 1 были сопоставимы. Однако, на 14 день после АГО уровень роговично-компенсированного ВГД был достоверно выше других тонометрических показателей (рис. 2).

Уровень IOPcc является наиболее важным в клиническом плане тонометрическим показателем, поскольку учитывает индивидуальные особенности фиброзной оболочки глаза пациентов. При обследовании пациентов с глаукомой показатель IOPcc достоверно отличался при некомпенсированном

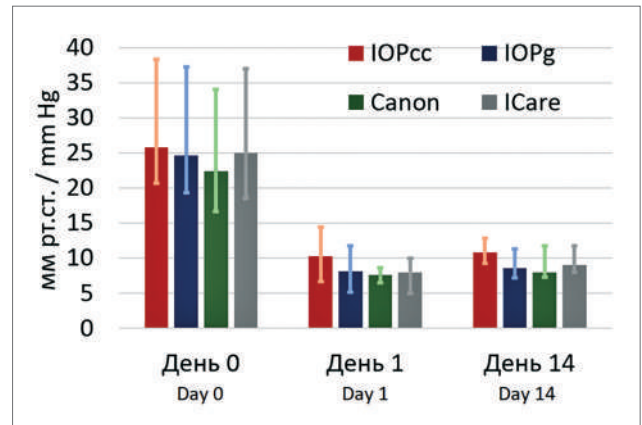


Рис. 2. ТонOMETрические показатели до антиглаукомной операции и в различные сроки после вмешательства.
Fig. 2. Tonometry readings before and at different time points after glaucoma surgery.

офтальмотонусе, что важно для определения правильной тактики лечения [8]. При оценке уровня ВГД после операции данная тенденция сохранялась, что указывает на систематическую недооценку офтальмотонуса (переоценку эффекта операции). Достоверность исследования подтверждается результатами исследования на парных глазах (контроль).

Данные особенности следует учитывать в клинической практике. Наиболее достоверным способом измерения ВГД является двунаправленная аппланация роговицы.

Литература

1. Еричев В.П., Онищенко А.Л., Куроедов А.В. и др. Офтальмологические факторы риска развития первичной открытоугольной глаукомы. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2019; 19(2):81-86. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2019-19-2-81-86>.
2. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование влияния биомеханических свойств роговицы на показатели тонометрии. *Сибирский научный медицинский журнал* 2009; 4:30-33.
3. Бубнова И.А., Антонов А.А., Новиков И.А. и др. Сравнение различных показателей ВГД у пациентов с измененными биомеханическими свойствами роговицы. *Глаукома. Журнал НИИ ГБ РАМН* 2011; 1:12-16.
4. Антонов А.А., Козлова И.В. Коэффициент биомеханического напряжения в оценке степени компенсации внутриглазного давления. *Вестник офтальмологии* 2021; 137(5-2):255-261. <https://doi.org/10.17116/ofitalma2021137052255>
5. Вострухин С.В. Влияние кераторефракционных операций на показатели офтальмотонометрии. *Национальный журнал глаукома* 2015; 14(2):82-92.
6. Антонов А.А., Вострухин С.В., Волжанин А.В. и др. Влияние аналогов простагландинов на колебания внутриглазного давления при изменении положения тела. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2022; 22(2):103-107. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-2-103-107>.
7. Diaz A., Yebra-Pimentel E., Resua C.G., Gilino J., Giraldez M.J. Accuracy of the ICare rebound tonometer in glaucomatous eyes with topical ocular hypotensive medication. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008; 28(1):29-34. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00526.x>.
8. Антонов А.А., Козлова И.В., Витков А.А. Максимальная медикаментозная терапия глаукомы — что есть в нашем арсенале? *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(2):51-58. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.06>

References

1. Erichev V.P., Onishchenko A.L., Kuroyedov A.V. Ophthalmic risk factors for the development of primary open-angle glaucoma. *RMJ Clinical ophthalmology* 2019; 19(2):81-86. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2019-19-2-81-86>.
2. Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Study of the influence of the biomechanical properties of the cornea on tonometry parameters. *Siberian Scientific Medical Journal* 2009; 4:30-33.
3. Bubnova I.A., Antonov A.A., Novikov I.A. Comparison of various IOP parameters in patients with altered biomechanical properties of the cornea. *Glaucoma. Journal of NII GB RAMS* 2011; 1:12-16.
4. Antonov AA, Kozlova IV. Coefficient of biomechanical stress in assessment of the degree of intraocular pressure compensation. *Vestnik Oftalmologii* 2021; 137(5-2):255-261. <https://doi.org/10.17116/ofitalma2021137052255>
5. Vostrukhin S.V. The effect of keratorefractive surgery on the intraocular pressure measurement. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2015; 14(2):82-92.
6. Antonov A.A., Vostrukhin S.V., Volzhanin A.V. Influence of prostaglandin analogs on intraocular pressure fluctuations with changes in body position. *RMJ Clinical ophthalmology* 2022; 22(2):103-107. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-2-103-107>.
7. Diaz A., Yebra-Pimentel E., Resua C.G., Gilino J., Giraldez M.J. Accuracy of the ICare rebound tonometer in glaucomatous eyes with topical ocular hypotensive medication. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008; 28(1):29-34. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00526.x>.
8. Antonov A.A., Kozlova I.V., Vitkov A.A. Maximum medical therapy for glaucoma — what is in our arsenal? *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2020; 19(2):51-58. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.06>