

### Офтальмоплетизмография как метод оценки кровообращения глаза

*Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет  
им. акад. И. П. Павлова  
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6/8  
e-mail: ARukhovets@gmail.com*

#### Реферат

**Введение.** Более половины патологии глаза обусловлено нарушениями его кровообращения. При этом часто имеется связь с состоянием системной гемодинамики.

**Цель работы.** Определение показателей офтальмоплетизмографии у здоровых лиц с учетом индивидуальных амплитудно-частотных характеристик внутриглазного кровотока обследуемых.

**Материал и методы.** С помощью офтальмоплетизмографии (плетизмограф ОП-А, СКТБ ОП «Оптимед», Россия, Москва, калиброванный по оптимизированной методике) обследован 251 человек без глазной патологии (кроме начальной катаракты у лиц старшего возраста). Одновременно проводилась оценка биометрических параметров глаза, внутриглазного давления (ВГД), системного артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС). Обследуемые были разделены по полу и возрасту.

**Результаты исследования.** Время анакроты по группам колебалось от  $0,23 \pm 0,04$  до  $0,32 \pm 0,06$  с; время катакроты — от  $0,58 \pm 0,09$  до  $0,75 \pm 0,11$  с; отношение времени анакроты ко времени катакроты: от  $0,34 \pm 0,07$  до  $0,55 \pm 0,1$ ; систолический прирост пульсового объема глазного яблока (СППОГЯ) — от  $7,35 \pm 3,21$  до  $11,15 \pm 4,42$  мкл; минутный объем СППОГЯ — от  $464,1 \pm 153,6$  до  $578,1 \pm 175,7$  мкл. Временные характеристики плетизмографической кривой в высокой степени коррелируют с частотой сердечных сокращений.

**Выводы.** Офтальмоплетизмография является информативным методом оценки кровотока глазного яблока. Показатели глазного кровотока по данным офтальмоплетизмографии в норме варьируют в широких пределах (от 165,6 до 1388,4 мкл/мин). Оценка параметров глазной гемодинамики без исследования параметров системного кровообращения нецелесообразна.

**Ключевые слова:** офтальмоплетизмография, глазной кровоток, сфигмография, пневмотонометрия, глазной пульс объема.

#### Введение

Исследование кровообращения глаза исключительно важно не только для понимания патогенеза многих его заболеваний, таких как диабетическая ретинопатия, глаукома [12, 13, 14], возрастная макулярная дегенерация (ВМД), нарушения кровообращения в сосудах сетчатки [18, 19, 20], зрительного нерва и других [8, 10], но и для оценки состояния мозгового кровообращения [16]. Более половины патологии глаза обусловлено нарушениями его кровообращения [1]. При этом часто имеется связь с общим состоянием организма как в норме [15, 23], так и при наличии патологии [16].

Достоверная оценка объемного глазного кровотока является сложной проблемой [3, 6]. Это связано с тем, что кровоснабжение различных отделов глазного яблока осуществляется из более или менее изолированных друг от друга источников: центральная артерия сетчатки (ЦАС) (сетчатка, зрительный нерв), задние длинные цилиарные артерии (цилиарное тело), задние короткие цилиарные артерии (хориоидея, зрительный нерв). При этом существует возможность осмотра глазного дна при офтальмоскопии, что позволяет оценивать структурные изменения внутриглазных сосудов, а также получать динамически меняющуюся информацию — регистрировать изменения внутриглазных сосудов при колебаниях их

кровенаполнении. В ходе исследований с помощью радиоактивных микросфер, хотя и с некоторыми допущениями, связанными с сутью самого метода, в эксперименте на обезьянах и кошках в абсолютных величинах был определен кровоток в сетчатке, радужке, хориоидеи [22]. Установлено, что основная масса крови (более 85 %), поступающей в глаз, приходится на сосудистую оболочку.

Методов одномоментного комплексного исследования кровообращения глаза не существует. Большинство исследований позволяют оценить кровообращение в отдельных сосудистых бассейнах: скорость кровотока и коэффициент резистентности (резистивности) в ретробульбарных сосудах, глазной артерии, ЦАС, цилиарных сосудах определяется с помощью доплерографии.

Измерение колебаний кровенаполнения внутриглазных сосудов производится с помощью плетизмографических (регистрируются изменения объема глазного яблока) и сфигмографических (регистрируются колебания внутриглазного давления) исследований.

Состояние сосудов сетчатки и зрительного нерва оценивается при флюоресцентной ангиографии, а также с использованием различных лазерных устройств [9], подавляющее большинство которых

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

предназначено для научно-исследовательских целей. Методы офтальмодинамометрии и офтальмодинамографии позволяют измерять давление во внутриглазных сосудах и глазной артерии.

Однако ни один из существующих клинических методов не позволяет непосредственно измерять объемный кровоток в глазу за единицу времени в абсолютных величинах.

Наибольшее распространение на Западе получила методика сфигмографии с использованием модифицированного пневмотонометра [30], современную методику подробно описал Schmidt (1999) [34]. Данное исследование основано на непрерывной регистрации и записи уровня офтальмотонуса, а пересчет разницы давления в абсолютные величины проводится в соответствии с несколько раз пересматривавшимися таблицами Friedenwald [25], описывающего взаимосвязь изменения объема жидкости и изменений внутриглазного давления при исследовании импрессионным тонометром. Метод непрерывной тонометрии учитывает не только кровоток глазного яблока, но, поскольку датчик пневмотонометра фиксируется на щелевой лампе, еще и орбитальный компонент кровотока. Таким образом, результаты регистрации пульсовых колебаний включают в себя и изменения кровенаполнения орбиты (рис. 1).

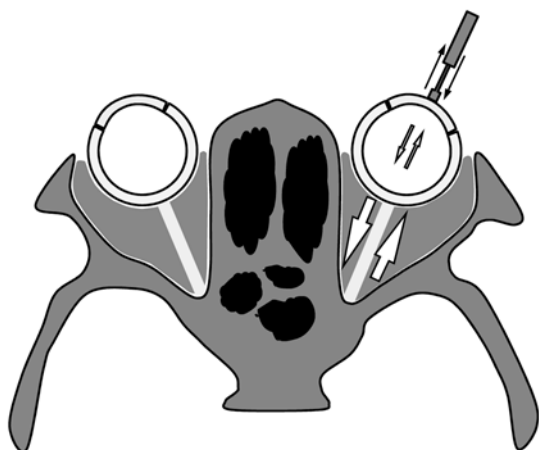


Рис. 1. Метод непрерывной пневмотонометрии



Рис. 2. Метод офтальмоплетизмографии

Подробный анализ соотношения глазного и орбитального компонентов кровотока приведен в работах Ю. С. Астахова [1, 2, 5]. Автором было установлено, что глазная составляющая является значительно меньшей, чем орбитальная (соотношение составляет примерно 1:5). Поэтому наибольший интерес представляют методы, которые позволяют оценить преимущественно изменение объема глазного яблока и, в частности, офтальмоплетизмография. Данный метод предложили в 1967 г. С. А. Винокурский, А. А. Стецин, А. Я. Бунин, В. С. Лыткина и В. В. Казак [7]. В настоящее время разработанный СКТБ ОП «Оптимед» офтальмоплетизмограф ОП-А позволяет выполнять исследование с минимальным компрессионным воздействием. За счет того, что глазная чашечка плотно фиксирована на глазном яблоке, происходит регистрация глазной составляющей глазоорбитального пульса (рис. 2). Следует помнить, что данная методика, как и большинство описанных выше, позволяет оценить увеличение объема глазного яблока в систолу (систолический прирост пульсового объема), при этом достоверных методов для оценки основного тока крови в глазном яблоке не существует.

**Цель работы** — определение показателей офтальмоплетизмографии у здоровых лиц с учетом индивидуальных амплитудно-частотных характеристик внутриглазного кровотока обследуемых.

### Материал и методы исследования

При работе с первой модификацией офтальмоплетизмографа нами была выявлена асимметрия показателей увеального кровотока при изменении ЧСС, получаемых по левому и правому каналам прибора. Для исключения влияния этой особенности на результаты измерения был разработан новый метод гармонической калибровки офтальмоплетизмографа [4]. Для определения параметров в норме у молодых лиц и у пожилых (без установленных офтальмологических заболеваний, кроме начальной катаракты) был обследован 251 человек (423 глаза): 48 женщин и 37 мужчин молодого возраста и 107 женщин и 59 мужчин старшей возрастной группы.

Для регистрации плетизмограммы использовалась последняя модификация офтальмоплетизмографа ОП-А СКТБ ОП «Оптимед» (Россия, Москва).

Оценивались время анакроты и катакроты (At и Kt, с), их отношение (AKt); систолический прирост пульсового объема, мкл (СППО): СППО переднего сегмента (СППОПС, непосредственно регистрируемый показатель), СППО глазного яблока (СППОГЯ, рассчитывается как СППОПС × коэффициент пересчета, учитывающий длину передне-задней оси (ПЗО) глазного яблока), минутный объем СППОГЯ (МОСППОГЯ, рассчитывается как СППОГЯ × ЧСС). Приведены показатели, рассчитанные по площади под кривой. Индекс циркуляции (ИЦ, рассчитан как СППО/(ЧСС/60)). Оценка внутриглазного давления (ВГД,  $P_0$ ) выполнена при помощи тонометра iCare TAO1i (Финляндия).

Оценка системного артериального давления (АД, мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС,

уд./мин) выполнялась на автоматическом тонометре UA-777 (A&D, Япония). Учитывалось систолическое ( $AD_c$ ), диастолическое ( $AD_d$ ), пульсовое ( $AD_{пульс}$ , рассчитано как  $AD_c - AD_d$ ), среднее ( $AD_{ср}$ , рассчитано как  $AD_d + 1/3 AD_{пульс}$ ) и перфузионное ( $AD_{перф}$ , рассчитано как  $AD_d - BГД$ ) давление.

Биометрия выполнялась на оптическом биометре LenStar LS-900 (Haag-Streit Int., Швейцария).

Статистическая обработка выполнена в программе SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Проверка нормальности выполнялась по критерию Колмогорова–Смирнова. Достоверность различий оценивалась по критерию Краскела–Уоллиса. Значимым считалось  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования

Характеристика обследованных групп приведена в таблице 1.

При сравнении показателей по группам статистически достоверной разницы с учетом поправки на множественность сравнений не получено.

При этом отмечается тенденция к увеличению с возрастом времени анакроды, снижению времени катакроды и увеличению их отношения. Также происходит снижение кровотока с возрастом, при этом у женщин он несколько выше, чем у мужчин, во всех группах, хотя разница и не является статистически достоверной.

Статистически достоверно у всех групп старшего возраста (при попарном сравнении измерений по критерию Краскела–Уоллиса  $p < 0,05$ ) возростали показатели артериального давления по сравнению с обследованными молодого возраста.

По показателям биометрии и частоте сердечных сокращений статистически достоверной разницы между группами не выявлено.

### Обсуждение результатов

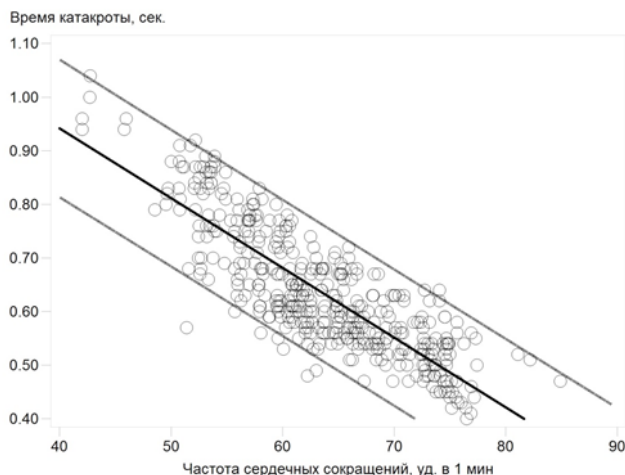
Показатели кровотока, полученные методом непрерывной пневмотонометрии, варьируют в широких пределах: от  $459,3 \pm 139,1$  [28] до  $1512 \pm 347$  мкл/мин (при размахе значений от 636 до 2291 мкл/мин) [21].

Распределение исследованных параметров обследованных

Таблица 1

Показатель	Группа	Мужчины				Женщины			
		M±SD	Me	min	max	M±SD	Me	min	max
At, с	1	0,25±0,05	0,25	0,15	0,38	0,23±0,04	0,22	0,14	0,37
	2	0,31±0,06	0,30	0,20	0,46	0,32±0,06	0,31	0,22	0,58
Kt, с	1	0,75±0,11	0,77	0,47	0,96	0,66±0,13	0,67	0,38	1,04
	2	0,6±0,09	0,6	0,44	0,82	0,58±0,09	0,57	0,4	0,96
AKt	1	0,34±0,07	0,33	0,24	0,62	0,36±0,05	0,35	0,23	0,48
	2	0,51±0,09	0,49	0,37	0,8	0,55±0,1	0,54	0,38	1,02
СППОГЯ, мкл	1	11,15±4,42	11,03	1,93	24,12	9,69±4,87	8,71	2,23	27,83
	2	7,35±3,21	7,40	1,96	18,42	7,42±3,21	6,92	1,87	21,05
Пульс, уд./мин	1	59,1±7,3	58	46	85	66,8±12,0	67	43	86
	2	64,0±7,8	63	50	85	64,7±7,0	64	42	77
МОСППОГЯ, мкл	1	578,1±175,7	564,0	165,6	991,4	558,0±221,8	518,3	230,7	1388,4
	2	464,1±153,6	461,3	165,9	961,0	479,0±159,1	451,9	167,7	1178,8
AD <sub>сistol</sub> , мм рт. ст.	1	120,9±11,4	123	97	144	112,9±10,5	113	90	139
	2	156,4±27,8	151	106	220	151,8±24,7	149	109	215
AD <sub>диастол</sub> , мм рт. ст.	1	68,4±8,6	68	47	85	67,7±8,9	69	50	98
	2	86,5±12,51	85	58	132	82,54±10,11	82	64	110
Возраст, лет	1	23,1±1,8	23	20	28	22,8±1,5	22	20	27
	2	71,4±7,55	73	53	87	71,6±8,1	73	50	85
Длина ПЗО глаза, мм	1	23,85±1,04	23,97	19,82	25,72	23,98±0,99	23,81	21,80	26,55
	2	23,70±0,92	23,77	21,01	25,79	23,74±0,96	23,64	21,81	26,60

Примечание: группа 1 — лица молодого возраста без установленных офтальмологических заболеваний; группа 2 — лица пожилого возраста без установленных офтальмологических заболеваний (кроме начальной катаракты).



**Рис. 3.** Корреляция времени катакриты и частоты сердечных сокращений по данным офтальмоплетизмографии

Разные авторы выделяют множество факторов, которые могут повлиять на величину показателей: положение тела обследуемого: сидя больше, чем лежа [27, 33], при задерживании дыхания: увеличение разброса значений [29]; пол: у мужчин ниже, чем у женщин [24, 21], возраст: снижение кровотока с возрастом [33]; размеры глазного яблока: снижение при увеличении длины глаза [28], расы [21, 32]; показатели системной гемодинамики, наличие офтальмопатологии: в частности, увеличение при меланоме хориоидеи [35], снижение при глаукоме [27], ВМД [31], снижение на ранних стадиях диабетической ретинопатии и возрастание — на поздних [26]. По влиянию некоторых из этих факторов мнения авторов противоречивы. К сожалению, подавляющее количество исследований кровообращения глаза, не включало в себя одновременную регистрацию показателей системной гемодинамики, внутриглазного давления и анатомических параметров глазного яблока.

Полученные нами величины кровотока являются несколько меньшими, чем указанные выше. В первую очередь, это может быть связано с тем, что регистри-

руется глазная составляющая глазоорбитального пульса. Отчасти это связано с тем, что пневмотонометрия обычно выполняется в положении сидя, а плетизмография — лежа. Следует учитывать, что расчет показателей при плетизмографии большинством исследователей выполнялся по амплитуде волны, при этом рассчитанные по площади под кривой величины (приведенные нами), по мнению конструктора прибора, являются более достоверными, хотя они и меньше, чем рассчитанные по амплитуде. Это в значительной мере затрудняет сопоставление величины СППО с показателями, полученными ранее нами и другими авторами. Следует отметить, что временные характеристики плетизмограмм у сходных групп обследованных являются близкими [11, 17].

Нами выявлены статистически значимые корреляции показателей кровотока и показателей системной гемодинамики. Получена высокая корреляционная зависимость временных параметров ( $A_t$  и  $K_t$ ) обследованных с ЧСС, которая составляла от  $-0,67$  до  $-0,95$  в различных группах, общая диаграмма рассеивания представлена на рис. 3. У пациентов старшего возраста получены корреляции с уровнем АД для СППОГЯ (от  $-0,16$  до  $-0,24$ ). У женщин старшего возраста также получена прямая корреляция СППОГЯ с  $AD_{пульс}$  ( $0,26$ ) и статистически достоверная, но незначительная корреляция для  $AD_{перф}$  с СППО ( $-0,16$ ). При этом статистически достоверных корреляций объемных показателей кровотока с показателями АД у обследованных молодого возраста не получено [15, 23].

## Выводы

1. Офтальмоплетизмография является информативным методом оценки кровотока глазного яблока.
2. Показатели глазного кровотока по данным офтальмоплетизмографии в норме варьируют в широких пределах (от 165,6 до 1388,4 мкл/мин).
3. Оценка параметров глазной гемодинамики без исследования параметров системного кровообращения нецелесообразна.

## Литература

1. Астахов Ю. С., Ангелопуло Г. В. Основные показатели кровообращения глаза и клинические методы их исследования // Методы исследования микроциркуляции в клинике: Материалы науч.-практ. конф. СПб., 2001. С. 96–100.
2. Астахов Ю. С. Глазо-орбитальный пульс и клиническое значение его исследования: дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1990. 343 с.
3. Астахов Ю. С., Джагашвили О. А. Современные направления в изучении гемодинамики глаза при глаукоме // Офтальмолог. журн. 1990. № 3. С. 179–183.
4. Астахов Ю. С., Будник В. М., Астахов С. Ю. и др. Калибровочный стенд для офтальмоплетизмографа: патент на полезную модель RUS № 160253. 2016.
5. Астахов Ю. С., Черезов Н. К., Ржанов Б. И., Соколов В. О. Способ измерения пульсаций глазного яблока: патент на изобретение RUS № 2027419. 1995.
6. Бунин А. Я. Гемодинамика глаза и методы ее исследования. М.: Медицина, 1971. 196 с.
7. Винокурский С. А., Стецин А. А., Бунин А. Я. и др. Устройство для офтальмоплетизмографии: патент СССР 211726, 1968.
8. Киселева Т. Н. Ультразвуковые методы исследования кровотока в диагностике ишемических поражений глаза // Вестник офтальмол. 2004. № 4. С. 3–5.
9. Киселева Т. Н., Аджемян Н. А. Методы оценки глазного кровотока при сосудистой патологии глаза. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015. Т. 14. № 4 (56). С. 4–10.
10. Киселева Т. Н., Тарутта Е. П., Тарасова Н. А. Исследование показателей гемодинамики в сосудах глаза на фоне комплексного функционального лечения близорукости // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2013. Т. 12. № 4 (48). С. 20–23.

11. Опенкова Е. Ю. Вакуум-периметрическая проба и офтальмоплетизмография в ранней диагностике первичной открытоугольной глаукомы // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2013. С. 114–116.
12. Руховец А. Г., Акопов Е. Л. Влияние монотерапии дорзоламидом 2 % на показатели гемодинамики глаза при первичной открытоугольной глаукоме // Санкт-Петербург. науч. чтения — 2015: Тезисы VI Международ. молод. мед. конгресса. 2015. С. 251.
13. Руховец А. Г., Акопов Е. Л. Влияние монотерапии латанопростом 0,005 % на офтальмоплетизмографические показатели при первичной открытоугольной глаукоме // 8-й рос. общенациональный офтальмолог. форум: сб. науч. тр.: в 2 т. Т. 2 / под ред. В. В. Нероева. М.: Апрель, 2015. С. 732–734.
14. Руховец А. Г., Акопов Е. Л. Влияние монотерапии тимололом 0,1 % на показатели регионарной гемодинамики при первичной открытоугольной глаукоме // Авиценна — 2015: Материалы VI Росс. (итоговой) науч.-практ. конкурс-конф. студ. и молодых ученых / НГМУ. Новосибирск, 2015. С. 91–92.
15. Руховец А. Г., Акопов Е. Л. Зависимость показателей кровообращения глаза от параметров артериального давления у лиц молодого и пожилого возраста // Вестник РГМУ. 2015. № 2. С. 685–686.
16. Соколов В. О. Значение исследования гемодинамики глаза и основных зрительных функций в диагностике нарушений проходимости брахиоцефальных артерий // Офтальмолог. ведомости. 2010. Т. 3. № 3. С. 63–70.
17. Страхов В. В., Алексеев В. В., Ермакова А. В. и др. Асимметрия тонометрических, гемодинамических и биоретинометрических показателей парных глаз в норме и при первичной глаукоме // Глаукома. 2008. № 4. С. 11–16.
18. Тульцева С. Н. Анатомические и гемодинамические предпосылки развития окклюзий вен сетчатки // Офтальмолог. ведомости. 2011. Т. IV. № 4. С. 70–76.
19. Тульцева С. Н., Астахов Ю. С. Окклюзии вен сетчатки (этиология, патогенез, клиника, диагностика, лечение). СПб.: Н-Л, 2010. 125 с.
20. Тульцева С. Н., Титаренко А. И., Руховец А. Г. Гемодинамические изменения при ишемической окклюзии вен сетчатки у лиц молодого возраста // Актуальные вопросы медицины в современных условиях: сб. по итогам Международ. науч.-практ. конф. СПб., 2016. № 3. С. 34–36.
21. Agarwal H. C., Gupta V., Sihota R., Singh K. Pulsatile ocular blood flow among normal subjects and patients with high tension glaucoma // Indian J. Ophthalmol. 2003. № 51 (2). P. 133–138.
22. Alm A., Bill A. The oxygen supply to the retina II. Effects of high intraocular pressure and of increased arterial carbon dioxide tension on uveal and retinal blood flow in cats. A study with radioactively labelled microspheres including flow determinations in brain and some other tissues // Acta Physiol. Scand. 1972. № 84 (3). P. 306–319.
23. Astakhov Y., Rukhovets A., Akopov E. Ocular Blood Flow And Systemic Blood Pressure Correlations In Young And Elderly Subjects // 6th World Glaucoma Congress / Abstract Book. 2015. P. 157.
24. Fontana L., Poinoosawmy D., Bunce C. V. et al. Pulsatile ocular blood flow investigation in asymmetric normal tension glaucoma and normal subjects // Br. J. Ophthalmol. 1998. № 82 (7). P. 731–736.
25. Friedenwald J. S. An attempt to remove discrepancies found in the 1954 calibration scale for Schiötz tonometers // Tr. Am. Acad. Ophth. 1957. № 61. P. 108–122.
26. Geyer O., Neudorfer M., Snir T. et al. Pulsatile ocular blood flow in diabetic retinopathy. // Acta. Ophthalmol. Scand. 1999. № 77 (5). P. 522–525.
27. Kerr J., Nelson P., O'Brien C. Pulsatile ocular blood flow in primary open-angle glaucoma and ocular hypertension // Am. J. Ophthalmol. 2003. № 136 (6). P. 1106–1113.
28. Lam A. K., Chan S. T., Chan B., Chan H. The effect of axial length on ocular blood flow assessment in anisometropes // Ophthalmic. Physiol. Opt. 2003. № 23 (4). P. 315–320.
29. Lam A. K., Lam C. H. Effect of breath-holding on pulsatile ocular blood flow measurement in normal subjects // Optom. Vis. Sci. 2004. № 81 (8). P. 597–600.
30. Langham M. E., Farrell R. A., O'Brien V. et al. Blood flow in the human eye // Acta Ophthalmol. Suppl. 1989. № 191. P. 9–13.
31. Mori F., Konno S., Hikichi T., Yamaguchi Y., Ishiko S., Yoshida A. Pulsatile ocular blood flow study: decreases in exudative age related macular degeneration. // The British Journal of Ophthalmology. 2001; 85(5): p. 531–533.
32. Mori F., Konno S., Hikichi T. et al. Factors affecting pulsatile ocular blood flow in normal subjects // Br. J. Ophthalmol. 2001. № 85 (5). P. 529–530.
33. Ravalico G., Toffoli G., Pastori G. et al. Age-related ocular blood flow changes // Invest Ophthalmol Vis Sci. 1996. № 37 (13). P. 2645–2650.
34. Schmidt K. G. Basic principles of the OBF system // Current concepts on ocular blood flow in glaucoma / eds by L. E. Pillunat, A. Harris, D. R. Anderson, E. L. Greve. Kugler Publ. – The Hague, Netherlands, 1999. P. 75–95.
35. Yang Y. C., Kent D., Fenerty C. H. et al. Pulsatile ocular blood flow in eyes with untreated choroidal melanoma // Eye (Lond). 1997. № 11 (Pt 3). P. 331–334.

UDK [617.7-073.173]

**Rukhovets A. G., Astakhov Y. S.**

## Ophtalmoplethysmography in ocular blood flow assessment

**First Pavlov State Medical University of St. Petersburg**  
**197089, Saint Petersburg, Lev Tolstoy St., 6–8**  
**e-mail: ARukhovets@gmail.com**

### Abstract

**Introduction and purpose.** Ocular blood flow (OBF) impairment is observed in more than 50 % of all ocular disorders. There is often an association with systemic hemodynamics. To evaluate ophtalmoplethysmographic parameters in normal subjects taking into account individual frequency-response OBF characteristics.

**Methods.** 251 subjects without ophthalmic pathological findings (except incipient cataract in elderly) were examined using ophtalmoplethysmograph OP-A (SKTB Optimed, Moscow, Russia, calibrated by optimized method). Ocular

biometry, intraocular pressure, blood pressure (BP), heart rate (HR) were also evaluated. Probands were divided into subgroups by gender and age.

**Results.** The duration of the anacrotic part of the pulse curve ranged between  $0.23 \pm 0.04$  sec and  $0.32 \pm 0.06$  sec; the duration of the catacrotic part of the pulse curve was between  $0.58 \pm 0.09$  sec and  $0.75 \pm 0.11$  sec; the anacrotic/catacrotic ratio ranged between  $0.34 \pm 0.07$  and  $0.55 \pm 0.1$ ; the systolic increase of ocular anterior segment volume (SIOASV) ranged between  $7.35 \pm 3.21$   $\mu$ l and  $11.15 \pm 4.42$   $\mu$ l; SIOASV per minute was between  $464.1 \pm 153.6$   $\mu$ l and  $578.1 \pm 175.7$   $\mu$ l. Time characteristics of the plethysmographic curve highly correlate with HR.

**Conclusions.** Ophthalmoplethysmography is a valuable tool for OBF evaluation. Normal OBF ophthalmoplethysmographic parameters vary significantly (ranging between 165.6 and 1388.4  $\mu$ l/min). OBF evaluation should not be performed without systemic BP and HR examination.

**Keywords:** ophthalmoplethysmography, ocular blood flow, sphygmography, pneumotonometry, ocular volume pulse.

## References

1. Astakhov Y.S., Angelopulo G.V. Osnovnye pokazateli krovoobrashcheniya glaza i klinicheskie metody ih issledovaniya // *Metody issledovaniya mikrocirkulyacii v klinike: Materialy nauch. prakt. konf. SPb, 2001, c. 96–100. [In Russian].*
2. Astakhov Y.S. Glazo-orbital'nyj pul's i klinicheskoe znachenie ego issledovaniya. // *Dis. d-ra med. nauk, L., 1990.-343 s. [In Russian].*
3. Astakhov Y.S., Dzhalishvili O. A. Sovremennye napravleniya v izuchenii gemodinamiki glaza pri glaukome // *Oftal'molog. zhurn. № 3. c. 179–183. [In Russian].*
4. Astakhov Y.S., Budnik V.M., Astahov S.YU., Ruhovec A.G., Maklygin A.N., Akopov E.L. Kalibrovochnyj stend dlya oftal'mopletizmografa. // *Patent na poleznuyu model' RUS №160253, 2016. [In Russian].*
5. Astakhov Y.S., Cherezov N.K., Rzhannov B.I., Sokolov V.O. Sposob izmereniya pul'sacij glaznogo yabloka. // *Patent na izobretenie RUS №2027419, 1995. [In Russian].*
6. Bunin A.YA. Gemodinamika glaza i metody ee issledovaniya. // *M.: Medicina, 1971.–196 s. [In Russian].*
7. Vinokurskij S.A., Stecin A.A., Bunin A.YA., Lytkina V.S., Kazak V.V. Ustrojstvo dlya oftal'mopletizmografii. // *Patent SSSR 211726, 1968, UDK 615.471:617.7-073 (088.8). [In Russian].*
8. Kiseleva T. N. Ul'trazvukovye metody issledovaniya krovotoka v diagnostike ishemicheskikh porazhenij glaza // *Vestnik oftal'mol. 2004. № 4. c. 3–5. [In Russian].*
9. Kiseleva T. N., Adzhemyan N. A. Metody ocenki glaznogo krovotoka pri sosudistoj patologii glaza. // *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya. 2015. T. 14. № 4 (56). c. 4–10. [In Russian].*
10. Kiseleva T. N., Tarutta E. P., Tarasova N. A. Issledovanie pokazatelej gemodinamiki v sosudah glaza na fone kompleksnogo funkcional'nogo lecheniya blizorukosti // *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya. // 2013. T. 12. № 4 (48). c. 20–23. [In Russian].*
11. Openkova E.YU. Vakuim-perimetricheskaya proba i oftal'mopletizmografiya v rannej diagnostike pervichnoj otkrytougol'noj glaukomy. // *Vestnik YUUrGU. Seriya «Obrazovanie, zdravoohranenie, fizicheskaya kul'tura». 2013. S.114 – 116. [In Russian].*
12. Rukhovets A.G., Akopov E.L. Vliyanie monoterapii dorzolamidom 2 % na pokazateli gemodinamiki glaza pri pervichnoj otkrytougol'noj glaukome. // *Tezisy VI Mezhdunarodnogo molodezhnogo medicinskogo kongressa «Sankt-Peterburgskie nauchnye chteniya – 2015», s. 251. [In Russian].*
13. Rukhovets A.G., Akopov E.L. Vliyanie monoterapii latanoprostom 0,005 % na oftal'mopletizmograficheskie pokazateli pri pervichnoj otkrytougol'noj glaukome. // *Rossijskij obshchenacional'nyj oftal'mologicheskij forum, 8-j: Sb. nauch. tr.: V 2 t. / Pod red. V.V. Neroeva. – M.: April', 2015. T. 2. c. 732–734. [In Russian].*
14. Rukhovets A.G., Akopov E.L. Vliyanie monoterapii timololom 0,1 % na pokazateli regionarnoj gemodinamiki pri pervichnoj otkrytougol'noj glaukome. // *Materialy VI Rossijskoj (itogovoj) nauchno-prakticheskoy konkurs-konferencii studentov i molodyh uchenyh «Avicenna–2015» NGMU. Novosibirsk, s. 91–92. [In Russian].*
15. Rukhovets A.G., Akopov E.L. Zavisimost' pokazatelej krovoobrashcheniya glaza ot parametrov arterial'nogo davleniya u lic molodogo i pozhilogo vozrasta. // *Vestnik RGMU, 2015, №2 s. 685–686. [In Russian].*
16. Sokolov V. O. Znachenie issledovaniya gemodinamiki glaza i osnovnyh zritel'nyh funkcij v diagnostike narushenij prohodimosti brahiocefal'nyh arterij // *Oftal'molog. vedomosti. 2010. T. 3. № 3. s. 63–70. [In Russian].*
17. Strahov V.V., Alekseev V.V., Ermakova A.V., Korchagin N.V., Kazanova S.YU. Asimetriya tonometricheskikh, gemodinamicheskikh i bioretinometricheskikh pokazatelej parnyh glaz v norme i pri pervichnoj glaukome. // *Glaukoma. 2008 №4, S.11 – 16. [In Russian].*
18. Tultseva S. N. Anatomicheskie i gemodinamicheskie predposylki razvitiya okklyuzij ven setchatki // *Oftal'molog. vedomosti. 2011. T. IV. № 4. s. 70–76. [In Russian].*
19. Tultseva S. N., Astahov YU. S. Okklyuzii ven setchatki (ehtilogiya, patogenez, klinika, diagnostika, lechenie). SPb.: N-L, 2010. 125 s. [In Russian].
20. Tultseva S.N., Titarenko A.I., Rukhovets A.G. Gemodinamicheskie izmeneniya pri ishemicheskoy okklyuzii ven setchatki u lic molodogo vozrasta. // *Aktual'nye voprosy mediciny v sovremennyh usloviyah. / Sbornik po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016. № 3. g. SPb, s. 34–36. [In Russian].*
21. Agarwal HC, Gupta V, Sihota R, Singh K. Pulsatile ocular blood flow among normal subjects and patients with high tension glaucoma. // *Indian J Ophthalmol. 2003; 51(2): p. 133–138.*
22. Alm A, Bill A. The oxygen supply to the retina II. Effects of high intraocular pressure and of increased arterial carbon dioxide tension on uveal and retinal blood flow in cats. A study with radioactively labelled microspheres including flow determinations in brain and some other tissues. // *Acta Physiol Scand 1972; 84(3): p. 306–319.*
23. Astakhov Y., Rukhovets A., Akopov E. Ocular Blood Flow And Systemic Blood Pressure Correlations In Young And Elderly Subjects // *6th World Glaucoma Congress / Abstract Book. 2015; P-S-004, p. 157.*
24. Fontana L, Poinoosawmy D, Bunce CV, O'Brien C, Hitchings RA. Pulsatile ocular blood flow investigation in asymmetric normal tension glaucoma and normal subjects. //



*Br J Ophthalmol.* 1998; 82(7), p. 731–736.

25. Friedenwald J.S. An attempt to remove discrepancies found in the 1954 calibration scale for Schiøtz tonometers. // *Tr. Am. Acad. Ophth.* 1957; 61: p. 108–122.

26. Geyer O, Neudorfer M, Snir T, Goldstein M, Rock T, Silver DM, Bartov E. Pulsatile ocular blood flow in diabetic retinopathy. // *Acta. Ophthalmol. Scand.* 1999; 77 (5), p. 522–525.

27. Kerr J, Nelson P, O'Brien C. Pulsatile ocular blood flow in primary open-angle glaucoma and ocular hypertension. // *Am J Ophthalmol.* 2003; 136 (6): p. 1106–1113.

28. Lam AK, Chan ST, Chan B, Chan H. The effect of axial length on ocular blood flow assessment in anisometropes. // *Ophthalmic Physiol Opt.* 2003; 23(4): p. 315–320.

29. Lam AK, Lam CH. Effect of breath-holding on pulsatile ocular blood flow measurement in normal subjects. // *Optom Vis Sci.* 2004; 81 (8): p. 597–600.

30. Langham ME, Farrell RA, O'Brien V, Silver DM,

Schilder P. Blood flow in the human eye. // *Acta Ophthalmol Suppl.* 1989; 191: p. 9–13.

31. Mori F, Konno S, Hikichi T, Yamaguchi Y, Ishiko S, Yoshida A. Pulsatile ocular blood flow study: decreases in exudative age related macular degeneration. // *The British Journal of Ophthalmology.* 2001; 85(5): p. 531–533.

32. Mori F, Konno S, Hikichi T, Yamaguchi Y, Ishiko S, Yoshida A. Factors affecting pulsatile ocular blood flow in normal subjects. // *Br J Ophthalmol.* 2001; 85 (5): p. 529–530.

33. Ravalico G, Toffoli G, Pastori G, Crocè M, Calderini S. Age-related ocular blood flow changes. // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1996, 37 (13), p. 2645–2650.

34. Schmidt K.G. Basic principles of the OBF system // *Current concepts on ocular blood flow in glaucoma* / Ed. by Pillunat L.E., Harris A., Anderson D.R., Greve E.L. – Kugler Publ. – The Hague, Netherlands, 1999. – p. 75–95.

35. Yang YC, Kent D, Fenerty CH, Kosmin AS, Damato BE. Pulsatile ocular blood flow in eyes with untreated choroidal melanoma. // *Eye (Lond).* 1997; 11 (Pt 3), p. 331–334.