

# Становление и развитие реографического метода исследования гемодинамики глаза при глаукоме

А.П. Клейман<sup>1</sup>, О.А. Киселева<sup>1</sup>, Е.Н. Иомдина<sup>1</sup>, А.М. Бессмертный<sup>1</sup>, П.В. Лужнов<sup>2</sup>, Д.М. Шамаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Первичное или вторичное нарушение кровоснабжения тканей глаза играет ведущую роль в патогенезе снижения зрительных функций при различных офтальмопатологических процессах, в том числе при первичной открытоугольной глаукоме. В связи с этим изучение внутриглазной гемодинамики представляется перспективным направлением клинической офтальмологии. Особое значение имеет оценка кровотока в увеальном тракте, поскольку он кумулирует более 80 % поступающей в глаз крови и служит основным коллектором кровотока, выполняющим функцию питания внутренних оболочек глаза. Реоофтальмография является одним из основных методов определения кровоснабжения увеального тракта. В обзоре представлена эволюция реографического метода исследования глазного кровотока с момента его разработки в середине XX столетия и до настоящего времени.*

**Ключевые слова:** транспальпебральная реоофтальмография, увеальный тракт, импеданс, гемодинамика глаза, реографический индекс.

Российский офтальмологический журнал, 2017; 1: 98-103

Первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) в настоящее время является одной из центральных проблем офтальмологии, привлекающих особое внимание исследователей и клиницистов. Это связано с широкой распространенностью и высокой социальной значимостью данной патологии [1]. Для своевременного лечения и стабилизации зрительных функций у пациентов, страдающих ПОУГ, решающим является и максимально ранняя диагностика, и максимально точный и исчерпывающий мониторинг заболевания. В последние десятилетия в практику врача-офтальмолога внедрены новые высокоточные методы оценки основных диагностических критериев глаукомы. Однако диагностика и мониторинг ПОУГ продолжают оставаться актуальной проблемой [2].

Для того чтобы не только диагностировать, но и лечить многие заболевания глаза, в том числе и глаукому, необходимо владеть информацией о степени нарушения гемодинамики в органе зрения, а также контролировать ее состояние на различных этапах терапии [3–6]. При исследовании глазного кровообращения большое внимание уделяется такой методике, как реоофтальмография (РОГ),

позволяющей объективно оценить состояние кровотока в основной гемодинамической системе глаза — сосудистом тракте [7–9].

РОГ — неинвазивный контактный метод, основанный на регистрации изменения общего сопротивления (импеданса) при прохождении через ткани глаза электрического тока высокой частоты [7, 10, 11]. Исследование гемодинамики глаза методом реографии (реоофтальмографии) принципиально связано с реоэнцефалографией, широко применяющейся при экспериментальных и клинических исследованиях гемодинамики мозга (бассейна внутренней сонной артерии). Поэтому целесообразно, на наш взгляд, остановиться на некоторых общих положениях реоэнцефалографии (РЭГ), которые имеют основополагающее значение для реографии глаза [7, 8].

РЭГ как метод исследования внутричерепного кровообращения стал развиваться в середине прошлого столетия. Этот неинвазивный метод основан на регистрации изменений импеданса (общего сопротивления) тканей при прохождении через них электрического тока средней и высокой частоты [7].

Термин «реография» (греч. rheos — *течение, поток* + grapho — *писать, изображать*) впервые предложили W. Holzer и соавт. в 1946 г. [12].

Разработка метода исследования внутричерепного кровообращения проводилась А.А. Кедровым и А.И. Науменко (1941–1943 гг.) и F. Jenkner (1957–1962 гг.). Экспериментальные и клинические исследования дали основания для выделения нового направления в реографии, которое было названо реоэнцефалографией [13–15].

В исследованиях F. Matzdorff было отмечено, что характер реограммы человека определяется колебаниями кровенаполнения, а не натяжением стенки сосуда. Главную роль при этом играет активное сопротивление. Исследование импеданса, состоящего из активного (омического) сопротивления, индуктивной и емкостной составляющих, сводится к измерению только активного сопротивления, так как индуктивная составляющая очень мала по сравнению с активным сопротивлением, а емкостная — уменьшается с увеличением частоты тока, и при относительно высокой частоте тока этими составляющими можно пренебречь [16].

Работы P. Kaindl и соавт. показали, что реограмма отражает фазы сужения и расширения сосудов. Ими была установлена возможность дифференцирования функциональных изменений сосудов от органических при применении тепловой пробы, а также сосудорасширяющих и сосудосуживающих препаратов [17]. Таким образом, была установлена целесообразность введения в практику нового метода непрямого исследования кровообращения — реографии [7].

Экспериментальные исследования, проведенные K. Коеске, доказали, что РЭГ отражает состояние не поверхностного, а именно интрацеребрального кровообращения [18].

Стого времени, как K. Polzer и F. Schuhfried применили метод реографии для изучения церебральной циркуляции, появилось много работ, апробирующих РЭГ при различных сосудистых нарушениях головного мозга. В настоящее время данный метод позволяет проводить дифференциальную диагностику между функциональными и органическими поражениями сосудов, диагностировать атеросклеротические изменения церебральных сосудов [7, 19].

За годы активной разработки реографического метода появились публикации о возможности использования реографической техники для оценки гемодинамики глаза.

В 1955 г. L. Sverac и соавт. опубликовали первые результаты реографии глаза. На глазное яблоко накладывалось контактное стекло без роговичной части. На вогнутой поверхности стекла (обращенной к глазу) устанавливался серебряный электрод — дифференциальный. Второй, индифферентный, электрод был прикреплен к коже височной области головы. Одновременно регистрировалась электрокардио-

грамма. Авторы приводят кривые глазного пульса с выраженным дикротическим зубцом и по форме очень близкие к реоэнцефалограмме [20]. Такой метод регистрации кровообращения тканей глаза близко подходит к определению качественных и количественных сторон гемоциркуляции во внутриглазных сосудах. Возражение, однако, вызывает то, что второй электрод находится на коже виска. При этом оценивается сосудистая зона от виска до глаза, что не исключает влияния на получаемые результаты внеглазных сосудов.

В 1963 г. Н.Н. Кипшидзе и соавт. в СССР и в 1965 г. S. Ziemnowicz-Radvan в США предложили при проведении реографии глаза накладывать электроды на веки. Ими была получена запись, синхронизированная с работой сердца и по форме пульсовых волн идентичная периферической реограмме. Из-за обильного кровоснабжения тканей века в данных работах регистрировалось в основном состояние гемодинамики именно в тканях века, а не во внутриглазных сосудах [21, 22].

В 1966 г. L. Swegmark [23] исследовал электрический импеданс тканей при аккомодации глаза. Запись пульса проводилась на приборе для измерения импеданса, работающем на частоте тока 30 кГц. Калибровки на этом приборе не было. Глазной электрод имел вид серебряной чашечки диаметром 6 мм. Он прикладывался к склере непосредственно у лимба и удерживался при помощи присосок (электрод Sverak — Peregryn — для электроретинографии). Другой электрод в виде двух пластинок размером 4 × 6 см был сделан из тонкой ячеистой латунной сетки и укреплялся на лбу. Такая техника, по свидетельству автора, давала стабильную запись из-за более стойкого контакта электродов с подлежащими тканями. Автор считал, что при расположении большого электрода на лбу и электрода меньшей площади на поверхности глазного яблока результат исследования будет главным образом зависеть от состояния кровообращения внутри глаза [23].

Период развития методики РОГ с 1962 по 1977 г. связан с именем профессора Л.А. Кацнельсона, который изучал реографические показатели глаза при различных офтальмопатологиях в эксперименте и клинике [7]. Он применял метод РОГ при глаукоме, близорукости, отслойке сетчатки, травмах и некоторых воспалительных заболеваниях глаза, используя 4-канальный реограф, изготовленный в экспериментально-производственных мастерских АМН СССР, и дал ему высокую оценку. В новой модели этого реографа была предусмотрена полуавтоматическая калибровка, что давало прибору несомненные преимущества. Автор отметил значимость и необходимость реографического метода оценки гемодинамики глаза для выявления индивидуальных особенностей течения патологического процесса, а также для назначения на этой базе обоснованно-

Термин «реография» (греч. rheos — *течение, поток* + grapho — *писать, изображать*) впервые предложили W. Holzer и соавт. в 1946 г. [12].

Разработка метода исследования внутричерепного кровообращения проводилась А.А. Кедровым и А.И. Науменко (1941–1943 гг.) и F. Jenkner (1957–1962 гг.). Экспериментальные и клинические исследования дали основания для выделения нового направления в реографии, которое было названо реоэнцефалографией [13–15].

В исследованиях F. Matzdorff было отмечено, что характер реограммы человека определяется колебаниями кровенаполнения, а не натяжением стенки сосуда. Главную роль при этом играет активное сопротивление. Исследование импеданса, состоящего из активного (омического) сопротивления, индуктивной и емкостной составляющих, сводится к измерению только активного сопротивления, так как индуктивная составляющая очень мала по сравнению с активным сопротивлением, а емкостная — уменьшается с увеличением частоты тока, и при относительно высокой частоте тока этими составляющими можно пренебречь [16].

Работы P. Kaindl и соавт. показали, что реограмма отражает фазы сужения и расширения сосудов. Ими была установлена возможность дифференцирования функциональных изменений сосудов от органических при применении тепловой пробы, а также сосудорасширяющих и сосудосуживающих препаратов [17]. Таким образом, была установлена целесообразность введения в практику нового метода непрямого исследования кровообращения — реографии [7].

Экспериментальные исследования, проведенные К. Коеске, доказали, что РЭГ отражает состояние не поверхностного, а именно интрацеребрального кровообращения [18].

Стого времени, как К. Polzer и F. Schuhfried применили метод реографии для изучения церебральной циркуляции, появилось много работ, апробирующих РЭГ при различных сосудистых нарушениях головного мозга. В настоящее время данный метод позволяет проводить дифференциальную диагностику между функциональными и органическими поражениями сосудов, диагностировать атеросклеротические изменения церебральных сосудов [7, 19].

За годы активной разработки реографического метода появились публикации о возможности использования реографической техники для оценки гемодинамики глаза.

В 1955 г. L. Sverac и соавт. опубликовали первые результаты реографии глаза. На глазное яблоко накладывалось контактное стекло без роговичной части. На вогнутой поверхности стекла (обращенной к глазу) устанавливался серебряный электрод — дифференциальный. Второй, индифферентный, электрод был прикреплен к коже височной области головы. Одновременно регистрировалась электрокардио-

грамма. Авторы приводят кривые глазного пульса с выраженным дикротическим зубцом и по форме очень близкие к реоэнцефалограмме [20]. Такой метод регистрации кровообращения тканей глаза близко подходит к определению качественных и количественных сторон гемоциркуляции во внутриглазных сосудах. Возражение, однако, вызывает то, что второй электрод находится на коже виска. При этом оценивается сосудистая зона от виска до глаза, что не исключает влияния на получаемые результаты внеглазных сосудов.

В 1963 г. Н.Н. Кипшидзе и соавт. в СССР и в 1965 г. S. Ziemnowicz-Radvan в США предложили при проведении реографии глаза накладывать электроды на веки. Ими была получена запись, синхронизированная с работой сердца и по форме пульсовых волн идентичная периферической реограмме. Из-за обильного кровоснабжения тканей века в данных работах регистрировалось в основном состояние гемодинамики именно в тканях века, а не во внутриглазных сосудах [21, 22].

В 1966 г. L. Swegmark [23] исследовал электрический импеданс тканей при аккомодации глаза. Запись пульса проводилась на приборе для измерения импеданса, работающем на частоте тока 30 кГц. Калибровки на этом приборе не было. Глазной электрод имел вид серебряной чашечки диаметром 6 мм. Он прикладывался к склере непосредственно у лимба и удерживался при помощи присосок (электрод Sverak — Peregryn — для электроретинографии). Другой электрод в виде двух пластинок размером 4 × 6 см был сделан из тонкой ячеистой латунной сетки и укреплялся на лбу. Такая техника, по свидетельству автора, давала стабильную запись из-за более стойкого контакта электродов с подлежащими тканями. Автор считал, что при расположении большого электрода на лбу и электрода меньшей площади на поверхности глазного яблока результат исследования будет главным образом зависеть от состояния кровообращения внутри глаза [23].

Период развития методики РОГ с 1962 по 1977 г. связан с именем профессора Л.А. Кацнельсона, который изучал реографические показатели глаза при различных офтальмопатологиях в эксперименте и клинике [7]. Он применял метод РОГ при глаукоме, близорукости, отслойке сетчатки, травмах и некоторых воспалительных заболеваниях глаза, используя 4-канальный реограф, изготовленный в экспериментально-производственных мастерских АМН СССР, и дал ему высокую оценку. В новой модели этого реографа была предусмотрена полуавтоматическая калибровка, что давало прибору несомненные преимущества. Автор отметил значимость и необходимость реографического метода оценки гемодинамики глаза для выявления индивидуальных особенностей течения патологического процесса, а также для назначения на этой базе обоснованно-

го и наиболее эффективного лечения [7, 24]. Его исследования показали, что увеличение реографического коэффициента отражает повышение кровенаполнения исследуемой области, уменьшение показывает обратное [7].

А.И. Золотарева провела РОГ-исследование при ПОУГ и некоторых других патологических состояниях глаза. Совместно с Ю.И. Сахаровым были внесены усовершенствования в электронную схему реографа, что позволило повысить чувствительность прибора и сделало его более устойчивым к помехам. Авторы отметили, что по виду сосудистой реакции можно судить о степени поражения хориоидальных сосудов при различных видах патологии, в том числе и при подозрении на глаукому [25].

С.Н. Басинский изучил корреляционную зависимость показателей гемодинамики глаза у пациентов с ПОУГ от имеющегося у них уровня внутриглазного давления (ВГД) с помощью офтальмосфигмографии и РОГ. Автор сообщает о том, что РОГ дает более точное представление о состоянии гемодинамики глаза [26].

Ведущую роль в получении относительно длительной и стабильной записи глазного пульса реографическим методом играет конструкция применяемых во время исследования электродов.

Основные требования к конструкции электродов включают хороший контакт с поверхностью глазного яблока; отсутствие давления электрода на глазное яблоко; отсутствие раздражения глаза, как во время проведения исследования, так и после него. Прототипом могли служить электроды для электроретинографии, однако оказалось, что они не отвечают поставленным условиям. Л.А. Кацнельсон и соавт. разработали около 15 различных моделей электродов для РОГ. Наиболее высокую оценку получила конструкция, впоследствии получившая название «датчик для РОГ по Кацнельсону»: контактное стекло без роговичной части, у склерального края которого по горизонтальному меридиану были вмонтированы две платиновые полусферы диаметром 3 мм каждая. Такая модель электрода характеризовалась рядом преимуществ: она обеспечивала более тесный контакт с глазным яблоком, была легкой (масса электрода вместе с проводами — 1,25 г), предотвращала скопление слезной жидкости под электродом. Возможность видеть фиксационную точку через верхнее отверстие в электроде позволяла проводить исследования на единственном глазу (расширился контингент пациентов, которым можно было проводить реографию) [7].

Датчик для реографии другой конструкции предложил Н. Bettelheim. На кольце диаметром 14 мм с внутренней стороны закреплены два серебряных электрода размером 4×15 мм. В верхнее отверстие кольца датчика вшлифована пробка из плексигласа с присоской. При накладывании дат-

чика на глазное яблоко создавался вакуум примерно в 10 мм рт. ст. Масса датчика составляла 4,5 г [27].

G. Ersler разработал датчик для РОГ в виде каучуковой присоски, в которую был вмонтирован серебряный пуговчатый электрод. Два таких датчика-присоски помещались по горизонтальному меридиану с отступом 3–4 мм от внутреннего и наружного лимба. Недостатком такой модели являлось дрожание присосок во время исследования из-за отсутствия жесткого соединения между ними, что затрудняло последующую математическую обработку полученного сигнала [28].

Более удобной конструкцией являются электроды И.К. Чибирене, которые представляют собой пластмассовую прозрачную чашечку (держатель электродов), по краям которой укреплены серебряные пластинки. На стенке чашечки имеется отверстие, в которое вставлена тонкая резиновая присоска. С ее помощью создается небольшой вакуум, достаточный для фиксации датчика на глазном яблоке. РОГ-исследования, проведенные с датчиком Чибирене, показали его несомненные преимущества [7, 29].

В.Ф. Алексанкин и соавт. для измерения вакуума в подкапсульном пространстве реографического датчика использовали водяной манометр. Авторы отметили, что для обеспечения плотного прилегания датчика к глазному яблоку достаточно разрежения величиной 5–6 мм вод. ст. [30].

Дальнейшие публикации об исследовании гемодинамики глаза с помощью РОГ носят единичный характер, и к началу XXI века метод теряет свою актуальность в силу разработки более точных и удобных для проведения методов исследования глазного кровотока [3–6].

В 2011 г. группа авторов из МГТУ им. Н.Э. Баумана сообщает о разработке новой методики проведения РОГ [31]. При создании этой методики авторы планировали преодолеть существующие недостатки классической РОГ, которая предполагает установку биполярных электродов непосредственно на поверхность глаза перилимбально, что обуславливает необходимость эпibuльбарной анестезии, вызывает искажение показателей гемодинамики, повышает риск инфекции или повреждения тканей глазного яблока [11]. Кроме того, проведение контактного обследования глаза не всегда возможно.

Для устранения этого и других недостатков РОГ была разработана методика, при которой электроды накладываются транспальпебрально (на закрытое веко), а для повышения точности исследований существующая биполярная методика заменяется на тетраполярную, позволяющую учесть особенности анатомического строения сосудистого русла глазного яблока. В результате записи пульсовых волн РОГ с их последующим анализом получают значение реографического индекса (РИ) и других гемодинамических характеристик. Регистрация сигналов транспальпебральной РОГ (ТП РОГ) осуществляется с помощью

тетраполярной системы отведений. Основными элементами этой системы являются 4 многообразных металлических электрода диаметром 4 мм, а также подложка с элементами их крепления и позиционирования. Специально разработанная для ТП РОГ конструкция в виде эластичного шлема обеспечивает фиксацию системы отведений в области глазной орбиты с возможностью корректировки и оптимизации для каждого пациента, а также правильное расположение и необходимую силу прижатия электродов к верхнему веку [10, 11].

Во время исследования пациент находится в положении лежа, на закрытый глаз устанавливается электродная система отведения, которая закрепляется с помощью элементов трикотажного шлема, второй глаз во время исследования остается открытым, чтобы видеть фиксационную точку. Это уменьшает количество произвольных движений глаз, тем самым снижая число артефактов в регистрируемом сигнале. Регистрация сигналов продолжается 1–1,5 мин.

Для обработки зарегистрированных сигналов ТП РОГ было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее в автоматизированном режиме проводить их анализ [10, 11, 31].

При анализе сигналов ТП РОГ рассчитываются 3 основных параметра реоофтальмограммы (по В.И. Лазаренко [32]):

— РИ, отображающий величину систолического притока крови и зависящий как от величины ударного выброса, так и от тонуса сосудов (в мОм);

— период максимального наполнения (ПМН), увеличивающийся при повышении тонуса и снижении эластичности сосудов (в секундах);

— показатель модуля упругости (ПМУ), характеризующий структурные свойства сосудистых стенок, их эластичность и тонус (в секундах).

С 2013 г. изучение кровоснабжения глаза при миопии методом ТП РОГ проходит на базе отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца [33].

Проведенные исследования показали, что ТП РОГ характеризуется удобством в применении, отсутствием контакта с глазной поверхностью, а также высокой информативностью и достаточной точностью, позволяет объективно оценивать состояние кровоснабжения глаза с учетом фазы дыхания [10, 33, 34].

ТП РОГ определяет кровенаполнение сосудистого тракта глаза. Однако в связи с тем, что электроды непосредственно контактируют с веком, возникает вопрос количественной оценки вклада кровотока века в регистрируемый сигнал. Группой авторов из МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца было проведено исследование, включающее численное моделирование распределения зондирующего тока по тканям глаза при ТП РОГ. Разработка модели проводилась в среде Autodesk

Inventor 2013 на основе принципов твердотельного моделирования. При моделировании определялось положение электродов, распределение плотности тока в пределах цилиарного тела, изменение плотности тока вдоль передне-задней оси глаза, а также учитывалась толщина века и сила прижатия к веку реографических электродов. На основе численного моделирования, учитывающего геометрию глаза, было показано, что ТП РОГ не уступает классической методике с позиций расположения области исследования, а также распределения зондирующего тока в сосудистом тракте глаза. Более того, при использовании тетраполярной ТП РОГ распределение зондирующего тока в сосудистом слое глаза более равномерное, по этому показателю транспальпебральная методика более чем в 3 раза превосходит контактную биполярную методику. Различия в толщине века для разных пациентов будут давать погрешность расчетов менее 1 %, и ими можно пренебречь [35].

В настоящее время сотрудниками отдела глаукомы МНИИ ГБ им. Гельмгольца проводится работа по изучению значимости и достоверности показателей новой методики ТП РОГ у больных с разными стадиями ПОУГ, а также определение возможностей ТП РОГ как метода ранней диагностики ПОУГ и метода, позволяющего оценить эффективность различных компонентов комплексного лечения глаукомы [36].

Таким образом, на современном этапе метод ТП РОГ является перспективным в отношении изучения нарушения гемодинамики глаза при ПОУГ. В дальнейшем данная методика может стать еще одним дополнительным методом обследования для оценки степени поражения сосудистого русла при ПОУГ, что позволит проводить патогенетически ориентированное лечение и эффективно стабилизировать течение глаукомного процесса.

#### *Литература / References*

1. *Нероев В.В., Киселева О.А., Бессмертный А.М.* Основные результаты мультицентрового исследования эпидемиологических особенностей первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. Российский офтальмологический журнал. 2013; 3: 4–7.  
*Neroev V.V., Kiseleva O.A., Bessmertny A.M.* The main results of a multicenter study of epidemiological features of primary open-angle glaucoma in the Russian Federation. Russian ophthalmological journal. 2013; 3: 4–7 (in Russian).
2. *Егоров Е.А., Астахов Ю.С., Шуко А.Г., ред.* Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей (2-е изд.). Москва: ГЭОТАР-МЕДИА; 2011.  
*Egorov E.A., Astakhov Yu.S., Shchuko A.G., eds.* National guidance on glaucoma for practitioners (2nd ed.). Moscow: GEOTAR-MEDIA; 2011 (in Russian).
3. *Schmetterer L.* Ocular perfusion abnormalities in glaucoma. Part 1. Anatomy and physiology, measurement of blood flow. Российский офтальмологический журнал. 2015; 8 (3): 100–9.  
*Schmetterer L.* Ocular perfusion abnormalities in glaucoma. Part 1. Anatomy and physiology, measurement of blood flow. Russian Ophthalmological Journal. 2015; 8 (3): 100–9.
4. *Киселева Т.Н.* Ультразвуковые методы исследования кровотока в диагностике ишемических поражений глаза. Вестник офтальмологии. 2004; 4: 3–5.

- Kiseleva T.N. Ultrasonic methods of investigation of blood flow in the diagnosis of ischemic lesions of the eye. *Vestnik ophthalmologii*. 2004; 4: 3–5 (in Russian).
5. *Kotliar K.E., Drozdova G.A., Shamshinova A.M.* Гемодинамика глаза и современные методы ее исследования. Часть I. Глазное кровообращение и его количественная оценка. *Глаукома*. 2006; 3: 62–73.  
*Kotliar K.E., Drozdova G.A., Shamshinova A.M.* Ocular hemodynamics and contemporary methods of its assessment. Part I. Ocular circulation and its quantitative evaluation. *Glaucoma*. 2006; 3: 62–73 (in Russian).
  6. *Астахов Ю.С., Джалиашвили О.А.* Современные направления в изучении гемодинамики глаза при глаукоме. *Офтальмологический журнал*. 1990; 2: 179–83.  
*Astakhov Yu.S., Dzhaliashvili O.A.* Modern trends in the study of hemodynamics of eyes with glaucoma. *Ophthalmological Journal*. 1990; 2: 179–83 (in Russian).
  7. *Кацнельсон Л.А.* Реография глаза. Москва: Медицина; 1977.  
*Katsnelson L.A.* Ocular reography. Moscow: Meditsina; 1977 (in Russian).
  8. *Бунин А.Я.* Гемодинамика глаза и методы ее исследования. Москва: Медицина; 1971.  
*Bunin A.Ya.* Eye hemodynamics and methods of its study. Moscow: Meditsina; 1971 (in Russian).
  9. *Козлов В.И.* Разночастотная реография здоровых и глаукоматозных глаз. *Вестник офтальмологии*. 1975; 1: 17–20.  
*Kozlov V.I.* Different frequency rheography of healthy and glaucomatous eyes. *Vestnik ophtal'mologii*. 1975; 1: 17–20 (in Russian).
  10. *Иомдина Е.Н., Лужнов П.В., Шамаев Д.М. и др.* Оценка транспальпебральной реоофтальмографии как нового метода исследования кровоснабжения глаза при миопии. *Российский офтальмологический журнал*. 2014; 7 (4): 20–4.  
*Iomdina E.N., Luzhnov P.V., Shamaev D.M., et al.* An evaluation of transpalpebral rheoophthalmography as a new method of studying the blood supply to the eye in myopia. *Russian Ophthalmological Journal*. 2014; 7 (4): 20–4 (in Russian).
  11. *Лужнов П.В., Парашин В.Б., Шамаев Д.М. и др.* Использование тетраполярной методики при реоофтальмографии для оценки кровоснабжения глаза. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2012; 10: 18–21.  
*Luzhnov P.V., Parashin V.B., Shamaev D.M., et al.* Use of tetrapolar methods during rheoophthalmography for an estimation of blood supply inside an eye. *Biomedical Radioelectronics*. 2012; 10: 18–21 (in Russian).
  12. *Holzer W., Polzer K., Marko A.* RKG Rheography. A method of circulation investigation and diagnosis in circular motion. [English translation]. Vienna: Wilhelm Maudrich; 1946.
  13. *Кедров А.А.* О новом методе определения пульсовых колебаний кровенаполнения сосудов в различных участках человеческого тела. *Клиническая медицина*. 1941; 19 (1): 71–80.  
*Kedrov A.A.* On a new method of determining the pulse fluctuations of blood vessels in different parts of the human body. *Klinicheskaja meditsina*. 1941; 19 (1): 71–80 (in Russian).
  14. *Науменко А.И., Скотников В.В.* Основы электроплетизмографии. Ленинград: Медицина; 1975.  
*Naumenko A.I., Skotnikov V.V.* Fundamentals of electroplethysmography. Leningrad: Meditsina; 1975 (in Russian).
  15. *Jenkner F.L.* Rheoencephalography. A method for the continuous registration of cerebrovascular changes. Springfield: Thomas; 1962.
  16. *Matzdorff F.* Experimentelle rheographische untersuchungen am modell. *Elektromedizin*. 1961; 6: 68–70.
  17. *Kaindl P., Polzer K., Schufried P.* Die Amplituden auswertung des Rheogramms. *Wiener Z. inn'ere Med*. 1959; 40: 175–8.
  18. *Koecke K.* Theoretische griendeagen der schadelrheographec in besonderer besie hugan zur Zerebrosclerose. *Wien. Med. Wschr*. 1962; 112: 227–30.
  19. *Polzer K., Schufried F.* Development and technic of rheography. *Wien. med. Wschr*. 1962; 112: 153–5.
  20. *Sverac L., Macik L., Kucera M.* Pouziti reopletysmografie ocnim lekarstvi. *Vojenske zchavotnicne listy*. 1955; 24: 261–5.
  21. *Кипшидзе Н.Н., Твилдиани Д.Д., Думбадзе З.Г.* О реоэнцефалографических исследованиях при гипертонической болезни. *Терапевтический архив*. 1963; 35 (4): 35–40.  
*Kipshidze N.N., Tvildiani D.D., Dumbadze Z.G.* About reoentsephalographic studies in hypertensive disease. *Terapevticheskij Arkhiv*. 1963; 35 (4): 35–40 (in Russian).
  22. *Ziennowicz-Radvan S.A.* Rheographic regional method for evaluation of cerebral and ocular circulation in cardiac and cerebrovascular disease. *J. of the Amer. Geriatrics Soc*. 1965; 1: 35–45.
  23. *Swegmark L.* Studies on the electrical impedance of the human eye. A preliminary report. *Acta ophthal*. 1966; 44: 121–31.
  24. *Кацнельсон Л.А.* Опыт использования реографии глаза (реоофтальмографии) в эксперименте и клинике. *Вестник офтальмологии*. 1971; 4: 32–8.  
*Katsnelson L.A.* Experience in the use of rheography of the eye (rheoophthalmography) in experiment and clinic. *Vestnik oftal'mologii*. 1971; 4: 32–8 (in Russian).
  25. *Бранчевская С.Я., Золотарева А.И.* Реоофтальмографические исследования дистрофических процессов макулярной области. *Вестник офтальмологии*, 1974; 3, 67–69.  
*Branchevskaya S.Ya., Zolotareva A.I.* Rheoophthalmography research of macular dystrophic process. *Vestnik oftal'mologii*. 1974; 3, 67–69 (in Russian).
  26. *Басинский С.Н.* Теоретические и клинические аспекты исследования гемодинамики глаза методами офтальмосфигмографии и реоофтальмографии. *Вестник офтальмологии*. 1990; 5: 33–7.  
*Basinsky S.N.* Theoretical and clinical aspects of the study of hemodynamics of the eye by methods of ofthalmosphigmography and rheoophthalmography. *Vestnik ophtal'mologii*. 1990; 5: 33–7 (in Russian).
  27. *Bettelheim H.* Rheopletismographie des auges. *Albr. von Graefes Arch. Ophthal*. 1972; 172 (2): 188–95.
  28. *Ersler G.* Zur Rheookulographie. *Klin. Mbl. Augenheilk*. 1968; 153 (2): 277.
  29. *Чибирене И.К.* Применение нового датчика и дифференциатора для регистрации реоофтальмограммы и ее первой производной. *Электроофтальмология в практике офтальмологии*. Москва; 1974; 187–90.  
*Chibirene I.K.* Application of a new sensor and a differentiator for the registration of rheoophthalmography and its first derivative. *Electroophthalmology in the practice of ophthalmology*. Moscow; 1974; 187–90 (in Russian).
  30. *Алексанкин В.Ф., Малюта Г.Д., Кутенов В.В.* Способ реоофтальмографии с дозированной вакуумной фиксацией реографического датчика на глазном яблоке. В кн.: *Научные труды Московского научно-исследовательского института глазных болезней*. Москва, 1974. Вып. 21: 6–8.  
*Aleksankin V.F., Malyuta G.D., Kutepov V.V.* Method of rheoophthalmography with dosed vacuum fixation of the rheographic sensor on the eyeball. In: *Papers of Moscow Helmholtz research institute of eye diseases*. Moscow; 1974; 21: 6–8 (in Russian).
  31. *Лужнов П.В., Парашин В.Б., Шамаев Д.М.* Анализ особенностей применения методов реоофтальмографии. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2011; 10: 39–41.  
*Luzhnov P.V., Parashin V.B., Shamaev D.M.* Analysis of using features of rheoophthalmographic method. *Biomedical Radioelectronics*. 2011; 10: 39–41 (in Russian).
  32. *Лазаренко В.И.* Функциональная реография глаза. Красноярск: «Растр»; 2000.  
*Lazarenko V.I.* Functional ocular geography. Krasnoyarsk: Rastr.; 2000 (in Russian).
  33. *Иомдина Е.Н., Лужнов П.В., Шамаев Д.М. и др.* Оценка транспальпебральной реоофтальмографии как нового метода исследования кровоснабжения глаза при миопии. *Российский офтальмологический журнал*. 2014; 7 (4): 20–4.  
*Iomdina E.N., Luzhnov P.V., Shamaev D.M., et al.* An evaluation of transpalpebral rheoophthalmography as a new method of studying the blood supply to the eye in myopia. *Russian ophthalmological journal*. 2014; 7 (4): 20–4 (in Russian).
  34. *Лужнов П.В., Шамаев Д.М., Иомдина Е.Н. и др.* Транспальпебральная тетраполярная реоофтальмография в задачах оценки

параметров системы кровообращения глаза. Вестник РАМН. 2015; 70 (3): 372–7.

Luzhnov P.V., Shamaev D.M., Iomdina E.N., et al. The transpalpebral tetrapolar rheoophthalmography in objectives of the evaluation of the parameters of the circulatory system of the eye. Vestnik RAMN. 2015; 70 (3): 372–7 (in Russian).

35. Лужнов П.В., Парашин В.Б., Шамаев Д.М. и др. Особенности моделирования различных сред глаза при реоофтальмографии. Биомедицинская радиоэлектроника. 2013; 10: 35–9.

Luzhnov P.V., Parashin V.B., Shamaev D.M., et al. Modeling features of various eye environments at rheoophthal-

mography. Biomedical Radioelectronics. 2013; 10: 35–9 (in Russian).

36. Клейман А.П., Киселева О.А., Иомдина Е.Н. и др. Значение транспальпебральной реоофтальмографии как нового метода ранней диагностики первичной открытоугольной глаукомы. Медицинский вестник Башкортостана. 2016; 1: 69–71.

Kleyman A.P., Kiseleva O.A., Iomdina E.N., et al. The value of transpalpebral rheoophthalmography as a new method of early diagnosis of primary open-angle glaucoma. Meditsinskiy vestnik Bashkortostana. 2016; 1: 69–71 (in Russian).

---

## The formation and development of the rheographic method for studying the hemodynamics of eyes with glaucoma

A.P. Kleyman<sup>1</sup>, O.A. Kiseleva<sup>1</sup>, E.N. Iomdina<sup>1</sup>, A.M. Bessmertny<sup>1</sup>, P.V. Luzhnov<sup>2</sup>, D.M. Shamaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Moscow, Russia

<sup>2</sup>N.E. Bauman State Technical University, Moscow, Russia

lina-1988@ya.ru

*Primary or secondary disturbance of blood supply of eye tissues plays a leading role in the pathogenesis of deterioration of visual functions in various ophthalmopathological processes, including primary open angle glaucoma (POAG). For this reason, the study of intraocular hemodynamics can be viewed as a promising direction in clinical ophthalmology. Of particular importance is the evaluation of blood flow in the uveal tract, since it accumulates more than 80 % of blood entering the eye, thus being the primary collector of blood flow and implements the nutritional function in the inner shells of the eye. Rheoophthalmography is one of the main methods of determining the blood supply of the uveal tract. The review presents the evolution of the rheographic method for studying the ocular blood flow since its elaboration in mid-20th century up to the present time.*

**Keywords:** transpalpebral rheoophthalmography, uveal tract, impedance, hemodynamics of the eye, rheographic index.

doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-1-98-103

Russian Ophthalmological Journal, 2017; 1: 98–103

---

Адрес для корреспонденции: 105062 Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19; ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России  
lina-1988@ya.ru