

# Перспективы применения доплерографии для исследования гемодинамики глаза у беременных с диабетической ретинопатией. Обзор

Н.В. Помыткина<sup>1</sup>Е.Л. Сорокин<sup>1,2</sup>О.В. Коленко<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Хабаровский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Тихоокеанская, 211, Хабаровск, 680033, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Муравьева-Амурского, 35, Хабаровск, 680000, Российская Федерация

<sup>3</sup> НГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения»  
Министерства здравоохранения Хабаровского края  
ул. Краснодарская, 9, Хабаровск, 680000, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2023;20(3):414–422

Метод цветового доплеровского картирования получил широкое распространение при исследовании гемодинамики у пациентов с сосудистой патологией глаз. В ряде исследований показаны изменения скоростных показателей глазного кровотока и доплерографических индексов у пациентов с сахарным диабетом как при отсутствии, так и при наличии диабетической ретинопатии. При прогрессировании диабетической ретинопатии выявлено нарастание изменений показателей, изучены вариации глазного кровотока после проведения консервативного лечения, лазеркоагуляции сетчатки, на фоне анти-VEGF терапии. Благодаря своей неинвазивности метод цветового доплеровского картирования применяется для оценки орбитального кровотока у беременных пациенток на любом сроке гестации. Работы данной направленности касаются оценки изменений орбитального кровотока при физиологическом течении беременности и при преэклампсии. Однако до сих пор отсутствуют сведения о состоянии глазного кровотока у беременных, страдающих сахарным диабетом, что может послужить основой для дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** цветовое доплеровское картирование, гемодинамика глаза, сахарный диабет, диабетическая ретинопатия, беременность

**Для цитирования:** Помыткина Н.В., Сорокин Е.Л., Коленко О.В. Перспективы применения доплерографии для исследования гемодинамики глаза у беременных с диабетической ретинопатией. Обзор. *Офтальмология*. 2023;20(3):414–422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-3-414-422>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Prospects Using of Colour Doppler Imaging to Study Ocular Hemodynamics in Pregnant Women with Diabetic Retinopathy. Review

N.V. Pomytkina<sup>1</sup>, E.L. Sorokin<sup>1,2</sup>, O.V. Kolenko<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Khabarovsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Tikhookeanskaya str., 211, Khabarovsk, 680033, Russian Federation

<sup>2</sup> Far Eastern State Medical University  
Murav'yeva-Amurskogo str., 35, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

<sup>3</sup> Postgraduate Institute for Public Health Workers  
Krasnodarskaya str., 9, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2023;20(3):414–422**

Color Doppler imaging became widespread for study hemodynamics in patients with vascular eyes pathologies. A number of studies have shown changes in ocular blood flow velocity and Doppler indices in patients with diabetes mellitus in both the absence and presence of diabetic retinopathy. With the progression of diabetic retinopathy, an increase in parameters' changes was revealed, variations in ocular blood flow were studied after conservative treatment, retinal laser photocoagulation, against the background of anti-VEGF therapy. Due to its non-invasiveness, color Doppler imaging is used to assess orbital blood flow in pregnant patients at any gestational age. The works of this direction concern the assessment the changes in orbital blood flow during the physiological course of pregnancy and preeclampsia. However, there is still no information on the state of ocular blood flow in pregnant women with diabetes mellitus, which can serve as a basis for further research.

**Keywords:** color Doppler imaging, ocular hemodynamics, diabetes mellitus, diabetic retinopathy, pregnancy

**For citation:** Pomytkina N.V., Sorokin E.L., Kolenko O.V. Prospects Using of Colour Doppler Imaging to Study Ocular Hemodynamics in Pregnant Women with Diabetic Retinopathy. Review. *Ophthalmology in Russia*. 2023;20(3):414–422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-3-414-422>

**Financial Disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## ВВЕДЕНИЕ

Сосудистая патология органа зрения занимает лидирующее место среди причин слепоты и слабовидения в современном мире. В связи с этим большое распространение в клинической практике получили методы исследования глазного кровотока, к которым можно отнести оптическую когерентную томографию в режиме ангиографии, флуоресцентную ангиографию и ультразвуковую доплерографию. Преимуществом доплерографии перед другими методами исследования, обеспечивающими в основном визуализацию сосудов сетчатки и хориоидальных структур, является возможность количественной оценки скоростных показателей кровотока в сосудах орбиты [1]. Допплерография для оценки ретробульбарного кровотока впервые была применена в 1991 году N.E. Lieb и соавт. у пациентов с окклюзионными поражениями сонных артерий [2].

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦВЕТОВОГО ДОППЛЕРОВСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛАЗНОГО КРОВОТОКА

Цветовое доплеровское картирование (ЦДК) — метод ультразвукового исследования, позволяющий накладывать закодированное цветом изображение скорости кровотока на серошкальное структурное двухмерное изображение сосудов, в том числе малого диаметра. Это трехмерная реконструкция сосудов и кровотока [1, 3].

Суть метода заключается в том, что датчик испускает ультразвуковые волны и учитывает задержку времени между их испусканием и возвращением с количественным определением точной локации источника, отражающего луч, что позволяет реконструировать изображения структуры тканей. При встрече зондирующего луча с движущимся объектом (например, эритроцитами) его частота изменяется, возникает сдвиг частоты. Если отражающий объект движется в направлении преобразователя, частота возвращенной звуковой волны больше, чем излучаемой, и наоборот. Этот феномен называется «доплеровский сдвиг», он позволяет визуализировать кровотоки и проводить количественную оценку его скоростей [4].

Метод доплерографии базируется на компромиссе между глубиной и разрешением исследования. Высокая частота применяемого ультразвука обеспечивает высокое разрешение, но ограничивает глубину исследования из-за затухания сигнала. Типичный преобразователь для ретробульбарного ЦДК имеет частоту 7,5 МГц, однако может использоваться зонд от 2 до 13 МГц [4].

Изображение сосуда и данные доплера комбинируются в реальном времени. Для обозначения направления кровотока применяют цветовую шкалу: направление кровотока к датчику (от сердца) отображается красным, показывая артериальную кровь, направление кровотока от датчика (к сердцу) изображается синим, показывая

N.V. Pomytkina, E.L. Sorokin, O.V. Kolenko

Contact information: Pomytkina Natalia V. [naukakhvmtk@mail.ru](mailto:naukakhvmtk@mail.ru)

415

Prospects Using of Colour Doppler Imaging to Study Ocular Hemodynamics in Pregnant Women...

венозную кровь. Изменения в скорости кровотока в течение сердечного цикла отображаются графически [4].

Пиковая систолическая скорость (PSV) представляет собой наибольшую скорость кровотока, достигаемую в систолу и измеряющуюся по частоте пика в спектральной волне с доплеровским сдвигом. Конечная диастолическая скорость (EDV) — это наименьшая скорость кровотока, достигаемая в диастолу и рассчитываемая по частоте впадин на кривой [3]. Повышение EDV и PSV свидетельствует об увеличении общего объема кровотока, соответственно, снижение этих показателей — об уменьшении объемного кровотока [5], однако возможны различные варианты. Повышение PSV может возникать из-за локальной вазоконстрикции или стеноза, что приводит к повышению скорости кровотока без изменений объемного кровотока [4].

При оценке результатов ЦДК-исследования большое значение придают доплерографическим индексам — индексу резистентности и пульсационному индексу, характеризующим состояние сосудистой системы проксимальнее и дистальнее исследуемого сосуда. Индекс резистентности (RI) рассчитывается по методу L. Pourcelot и соавт. как  $RI = PSV - EDV / PSV$ . Он варьирует от 0 до 1. Значение «0» указывает на неп пульсирующий кровоток ( $EDV = PSV$ ), значение «1» — на полностью пульсирующий кровоток (отсутствие диастолической скорости) [6].

Точная зависимость между RI и сосудистым сопротивлением не установлена. Существует комплексное взаимодействие между эластичностью сосудистой стенки, сосудистой резистентностью и пульсирующим давлением крови в детерминировании RI. По мнению ряда авторов, в отношении ретробульбарных сосудов интерпретировать RI как фактор, определяющий сосудистую резистентность, нужно с осторожностью, поскольку он может быть неточным для мелких сосудов. Исследования, использовавшие гипероксию, и исследования изменений сосудистого сопротивления в центральной артерии сетчатки (ЦАС) не показали наличие четкой зависимости между RI и сосудистой резистентностью [4, 7].

Другие исследования указывают на тесную корреляцию высокого RI и низкой EDV с повышенным сосудистым сопротивлением ниже по сосуду от точки измерения ЦДК [5], а сочетание повышенного PSV с повышенным EDV при постоянном RI — с увеличением общего кровотока через сосуд [5].

Пульсационный индекс (PI) определяется по формуле  $PI = PSV - EDV / MFV$ , где MFV — средняя скорость кровотока, и считается наиболее чувствительным для дифференциации аномальных ультразвуковых волн, поскольку включает данные о средней скорости кровотока. Его значения всегда превышают 0 [5].

ЦДК позволяет оценить анатомические особенности расположения сосудов, наличие деформаций и установить их связь со степенью выраженности сосудистой патологии. Наиболее активно изучается состояние кровотока в таких сосудах орбиты, как глазничная артерия

(ГА), ЦАС, задние короткие цилиарные артерии (ЗКЦА), центральная вена сетчатки (ЦВС) [3, 8]. Однако, по мнению ряда авторов, изменения кровотока в ГА нельзя полностью соотносить с изменениями глазного кровотока, поскольку большая часть крови в ГА проходит через ее внеглазные ветви [4]. Различные сосудистые бассейны, кровоснабжаемые этими ретробульбарными артериями, имеют и различные механизмы регуляции, что необходимо учитывать при анализе параметров кровотока [9]. Помимо этого, в ходе ЦДК нельзя исследовать кровотоки в отдельных ЗКЦА, в связи с этим оценивается сигнал от совокупности цилиарных артерий [4].

При ЦДК необходимо учитывать суточную вариабельность гемодинамических параметров и повторные исследования проводить в то же время суток [10]. Большое влияние на результаты ЦДК оказывает также техника проведения исследования, в частности положение датчика, степень давления на глазное яблоко [4]. Инстилляцией гипотензивных капель, различные препараты для системного применения, общие сосудистые заболевания также могут влиять на результаты ЦДК [4, 11].

Однако, несмотря на ограничения метода, ЦДК обладает целым рядом преимуществ, к которым можно отнести отсутствие излучения, возможность многократных повторных исследований, неинвазивность, безболезненность, быстроту получения диагностических данных. Это позволяет применять его для изучения глазного кровотока у беременных женщин [12].

Аномальный кровоток лежит в основе развития сосудистой патологии глаза, в связи с этим метод ЦДК в настоящее время широко используется при целом ряде заболеваний: орбитальных и внутриглазных новообразованиях, каротидно-кавернозном соустье, возрастной макулярной дегенерации, пигментном ретините, ретинопатии недоношенных, отслойке сетчатки, антифосфолипидном синдроме, глаукоме, глазном ишемическом синдроме, окклюзиях вен сетчатки [1, 13].

### **ЦВЕТНОЕ ДОПЛЕРОВСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ГЛАЗНОГО КРОВОТОКА У ПАЦИЕНТОВ С ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИЕЙ**

В основе развития диабетической ретинопатии (ДР) лежат изменения ретинального и хориоидального кровотока, изучению которых посвящено большое количество исследований. Так, еще в 1975 г. E. Kohner и соавт. выявили увеличение скорости ретинального кровотока у пациентов без ДР и с непролиферативной диабетической ретинопатией (НПДР) в отличие от препролиферативной и пролиферативной ретинопатии (ППДР и ПДР) [14].

Многие исследования, базирующиеся на использовании ЦДК, установили корреляцию между изменениями ретробульбарного кровотока и прогрессированием ДР [15, 16]. Однако результаты, полученные разными исследователями, не всегда равнозначны.

Ряд авторов выявили ухудшение кровотока в ГА, ЦАС, ЗКЦА у пациентов с сахарным диабетом (СД) без ДР [17, 18]. Так, М. Modrzejewska и соавт. обнаружили у молодых пациентов с СД 1 типа выраженное снижение PSV, MFV, PI, и RI в ГА, ЦАС и ЗКЦА [19]. Р. Kraśnicki и соавт. также установили, что PSV и EDV в ГА у пациентов с СД были значительно меньше в сравнении с контролем. В то же время PSV и EDV в ЦАС были ниже только у пациентов с ДР, а в ЗКЦА у пациентов с ДР была снижена только PSV. Они заключают, что у пациентов с СД снижается кровотоки в ГА, а значимое снижение кровотока в ЦАС и ЗКЦА отмечается только при наличии ДР [20].

Напротив, N. Mengi и соавт. у пациентов с СД, но без ДР, выявили значительное повышение показателей PSV и RI в ГА, PSV и EDV в ЦАС, а у пациентов с ДР — значительное снижение PSV и EDV в ЦАС и ГА. Показатель RI в ГА и ЦАС, по данным авторов, был значимо выше в глазах с ДР в сравнении с контролем [21]. Н.А. Малышева и Е.А. Масленникова обнаружили повышение скорости кровотока в ГА у детей с СД 1 типа без ДР и установили, что повышение RI предшествует появлению признаков ДР. Они рассматривают увеличение RI у пациентов с СД без ДР как маркер риска развития начальной стадии НППДР через 6,2 мес., а у пациентов с выраженной НППДР — увеличение скорости кровотока в ГА на фоне нормального RI как признак прогрессирования ДР [22].

В.В. Нероев и соавт. у пациентов с НППДР легкой степени определили небольшое снижение PSV в ГА и выраженное снижение EDV в ЦАС и ЗКЦА. В глазах с НППДР средней степени тяжести было отмечено снижение PSV и EDV в ГА, при этом в ЦАС регистрировали снижение EDV в 2 раза и увеличение RI в 1,5 раза, а в ЗКЦА — снижение PSV и EDV в 2,5–3 раза и повышение RI, что, по мнению авторов, свидетельствовало о нарушении кровообращения в ЦАС и ЗКЦА, значительном повышении дистальной вазорезистентности и дефиците кровотока [23].

О.Р. Слободина и Е.Б. Ольхова при НППДР отмечали понижение всех скоростных показателей, кроме PSV в ГА, а также повышение RI. Наиболее значимыми были снижение PSV в 1,5–2 раза и повышение RI до 0,71–0,78 в ЦАС. У пациентов с ПППДР отмечалось повышение RI во всех артериях и снижение большинства скоростных показателей: EDV в ГА — в 1,7 раза, в ЦАС — в 3 раза, PSV в ЦАС — в 1,7 раза. В то же время достоверного снижения PSV в ГА выявлено не было. Авторы установили, что у 30% пациентов с СД 2-го типа кровотоки имеют «мозаичный» характер в виде чередования участков ускорения и замедления (высокие и низкие показатели PSV) при общем повышении RI. По мнению авторов, наличие микроаневризм, увеличение количества запустевших капилляров объясняет снижение скорости кровотока, в то же время гиалинизация сосудистых стенок и микротромбирование обеспечивает повышение скорости кровотока. Данный феномен авторы рассматривают как прогностический признак прогрессирования ДР

и развития ПППДР. Помимо этого, авторами были установлены пороговые значения показателей, позволяющие выявлять манифестацию НППДР: EDV ГА <11 см/с, PSV ЦАС <12,5 см/с, EDV ЦАС <4,6 см/с, EDV АС <5,5 см/с, RI ГА >0,74, RI ЦАС >0,75, RI АС >0,69. Причем наиболее показательными, по мнению авторов, являются параметры PSV ЦАС и RI ГА [24].

Напротив, Т.Н. Киселева, а также А.З. Журабекова и Н.А. Малышева и соавт. отмечали повышение скорости ретинального кровотока на начальных стадиях ДР и ее снижение при прогрессировании процесса параллельно с появлением неперфузируемых зон сетчатки [1, 22, 25]. Б.М. Азнабаев и соавт. выявили повышение как скоростных показателей, так и RI и PI в ГА и ЦАС при НППДР в отличие от здоровых лиц. Усиление кровотока в ГА и ЦАС, по мнению авторов, связано с увеличением перфузии и обеспечивает компенсацию возникающих при ДР ретинальных изменений в виде формирования микроаневризм, геморрагий, образование «твердых эксудатов» и «ватообразных» очагов [26]. Увеличение доплерографических параметров кровотока объясняется ауторегуляторной реакцией вследствие повышенной резистентности в мелких капиллярах и артериолах сетчатки и соответствует данным V. Patel и соавт. [27].

S.C. Fujioka и соавт. установили, что при высокой PSV в ЦВС в сравнении с ЦАС чаще отмечалось наличие продвинутых стадий НППДР и кистозного ДМО. В то же время скорости кровотока в ГА и ЗКЦА значимо не отличались между группами НППДР и контроля. Скорости в ЦАС были сходными во всех группах НППДР различной тяжести и значимо меньше, чем у здоровых субъектов. А скорость кровотока в ЦВС была значимо выше только в группе НППДР [28].

D.W. Evans и соавт., изучая реактивность ГА и ЦАС у пациентов с НППДР, определили, что изокапническая гипероксия не приводила к изменениям кровотока в ЦАС и ГА у пациентов с ДР, в отличие от здоровых лиц, за счет исчезновения у них регуляторного механизма контроля оксигенации сетчатки, обеспечивающего развитие вазоконстрикции ретинальных сосудов и уменьшение ретинального кровотока в ответ на гипероксию [17].

В ряде работ была установлена взаимосвязь между снижением показателей скорости кровотока в ЦАС и степенью тяжести ДР [23]. V. Patel и соавт. показали снижение скоростных параметров в ГА и ЦАС, повышение RI по мере прогрессирования ДР [27]. В.Ф. Экгардт и соавт. у пациентов с НППДР и угрозой развития пролиферации фиксировали повышение PSV, EDV, MFV в ЗКЦА на фоне повышенного RI [29]. В то же время G. Dimitrova и соавт. не отмечали изменений параметров гемодинамики в ЦАС и ЗКЦА при прогрессировании ДР [30].

T. Grasner выявил значительное повышение PSV в ГА, значимое снижение PSV и EDV в ЦАС, а также статистически значимое снижение EDV в ЗКЦА и повышение RI у пациентов с тяжелой НППДР и ПДР в сравнении с контролем. RI в группе тяжелой НППДР/ПДР был значимо

выше в сравнении с группой НПДР [15]. Е.Б. Ольхова и соавт. также установили у пациентов с ПДР выраженное снижение EDV в ГА, ЦАС и значительное повышение RI, свидетельствующее о затруднении перфузии в орбитальных сосудах [24]. Другие исследования, напротив, выявили снижение RI в ЦАС и ЗКЦА на стадии ПДР [31].

В.В. Нероев и соавт. изучали особенности глазного кровотока у пациентов с осложненной ПДР, сопровождавшейся организованным гемофтальмом, тракционной отслойкой сетчатки, и выявили снижение PSV и EDV при достоверном повышении RI в ЦАС по сравнению с контролем. У пациентов с гемофтальмом при отсутствии фиброглиальной пролиферации и отслойки сетчатки в ГА отмечалось повышение PSV на 11 % от нормы при снижении EDV на 16 % и повышении RI. Это расценивалось авторами как попытка компенсации дефицита ретинального кровотока вследствие микроангиопатии. Тенденцию к снижению PSV и повышению EDV в ГА с псевдонормализацией RI при более тяжелом течении ПДР они объясняют дисрегуляцией кровотока. При сочетании гемофтальма и тракционной отслойки сетчатки в ГА определялись самые низкие показатели PSV, характеризовавшие наибольший дефицит кровотока [16]. В.В. Нероев и соавт. также установили, что наиболее тяжелые проявления ПДР и интраоперационные геморрагические осложнения ассоциируются со снижением PSV, повышением EDV и снижением RI в ГА. В связи с этим авторы использовали данные ЦДК для прогнозирования интраоперационных геморрагических осложнений при хирургии осложненной ПДР. Так, по мнению авторов, дисбаланс кровотока в ГА — снижение PSV при повышении EDV с уменьшением разницы между значениями на 22 % и более от нормы, а также снижение RI являются факторами риска интраоперационных геморрагических осложнений [32].

Ряд авторов использовали данные ЦДК для оценки результатов проведения курсов консервативного лечения и лазеркоагуляции сетчатки (ЛКС) у пациентов с ДР. Б.М. Азнабаев и соавт., а также А.Ф. Габдрахманова и соавт. после курсов нейропротективного лечения у пациентов с НПДР в динамике наблюдали тенденцию к снижению скоростных показателей и RI в ГА и ЦАС [26, 33]. А.З. Журабекова и соавт. отметили нормализацию кровотока через один месяц после комплексного лечения в виде достоверного увеличения PSV и EDV у пациентов с НПДР второй и третьей стадии и снижение RI и RI на всех стадиях НПДР по сравнению с исходными показателями [25].

И.Н. Влазнева и соавт. изучали гемодинамику глаза при НПДР до и после ЛКС и выявили снижение PSV и EDV и повышение вазорезистентности в ГА, ЗКЦА, ЦАС после ЛКС, наиболее выраженное в ЦАС и ЗКЦА [34]. Аналогичные результаты у пациентов с НПДР с ДМО получили А.Н. Самойлов и соавт. [35]. В.В. Нероев и соавт., в свою очередь, выявили изменения ретинального кровообращения и увеличение вазорезистентности

после панретиальной лазерной коагуляции сетчатки (ПРЛК) у пациентов с ППДР и ПДР. Значимых изменений PSV и EDV в ГА до и после ПРЛК выявлено не было. Было установлено снижение PSV в ЦАС в среднем на 47 %, в ЗКЦА — на 22 % в сравнении с контролем. В то же время исследователи отметили достоверное увеличение RI и незначительное увеличение скоростных показателей кровотока в ЦАС и ЗКЦА после проведения ПРЛК [36].

В.В. Нероев и соавт., исследуя методом ЦДК влияние интравитреального введения ранибизумаба для лечения ДМО, установили, что в результате проведения антиангиогенной терапии происходит улучшение гемодинамических показателей в виде снижения исходно повышенных показателей PSV и RI в ГА на пораженном глазу, а также выраженное увеличение EDV и снижение RI в ЦАС на пораженном и парном глазу [37].

ЦДК расширяет наши представления о патогенезе сосудистой патологии глаза. Так, А.А. Колчиным и соавт. на основании изучения гемодинамических данных была предложена схема изменений глазного кровотока у пациентов с СД. Она включала повышение скорости ретинального кровотока на начальных стадиях ДР и его угнетение при прогрессировании процесса начиная с ППДР. Последнее, по их мнению, обусловлено повреждением капилляров с увеличением фовеолярной аваскулярной зоны, появлением неперфузируемых зон, ведущих к ишемии сетчатки. Компенсаторным ответом на ишемию, в свою очередь, является запуск усиленного ангиогенеза — неоваскуляризации [38].

По данным ряда авторов, изменения гемодинамики при ДР начинаются в сосудах мелкого калибра, тогда как ГА вовлекается только на стадии ПДР [24].

По мнению Н.А. Малышевой и соавт., исследование доплерографических показателей ГА дает представление о сопротивляемости стенок сосудов току крови и их ригидности, что может указывать на целостность капилляров и развитие НПДР. Повышение скоростей кровотока в ГА при нормальных значениях RI у пациентов с СД с отсутствием ДР характеризует повышение давления на стенки сосудов. Сопротивляемость сосудов остается нормальной за счет отсутствия морфологических повреждений стенок. Гемореологические изменения предшествуют морфологическим, поэтому при нормальной картине глазного дна и нормальном RI ГА показатели скорости кровотока превышают нормальные значения. При начальной НПДР возрастающее давление на стенки сосудов приводит к гибели перicyтов, истончению стенок и формированию микроаневризм. Возрастание сопротивления с изменением значений RI в ретинальных сосудах способствует развитию клиники НПДР.

При дальнейшем прогрессировании НПДР нормальные значения показателей скоростей кровотока и RI обусловлены тем, что при повышении давления в ГА поврежденные стенки капилляров и микроаневризмы не выдерживают напряжения и плазма с компонентами выходит за пределы капилляров, за счет этого

скорость кровотока снижается, давление на стенки сосудов уменьшается. Последующее повышение скорости кровотока связано с прогрессированием гемореологических расстройств, микротромбированием, уменьшением количества функционирующих капилляров. Снижение сопротивляемости стенок сосудов, открытие шунтов и участие их в кровоснабжении сетчатки поддерживает RI в пределах нормальных значений. При прогрессировании ДР повышение RI связано с сужением просвета ГА и уменьшением площади ее внутренней поверхности, формированием необратимых изменений стенок сосудов. Повышение вязкости крови приводит к развитию истинного капиллярного стаза, потеря эндотелиальных клеток вызывает повышение ретикулярной капиллярной проницаемости [22].

Таким образом, результаты исследования регионарной гемодинамики методом ЦДК при ДР с различным течением и степенью тяжести могут быть использованы для улучшения диагностики, определения критериев риска быстрого прогрессирования ДР до ПДР, разработки дифференцированных подходов в лечении и при оценке результатов лечения.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОДИНАМИКИ ГЛАЗ У БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН**

При физиологическом течении беременности в организме женщины происходит целый ряд изменений сосудистой системы: увеличение объема плазмы крови, сердечного выброса на 40 %, дилатация периферических сосудов, снижение периферического сосудистого сопротивления, что приводит к формированию так называемого «гиперциркуляторного» состояния. Повышение системного кровотока, в свою очередь, обуславливает изменения локального глазного кровотока [39].

Исследования гемодинамики глаза у беременных в основном посвящены проблеме гестоза и преэклампсии (ПЭ) и базируются на использовании различных диагностических методов, в том числе реоофтальмографии<sup>1</sup>, лазерной доплеровской флоуметрии, офтальмосфигмографии, калиброметрии сосудов бульбарной конъюнктивы и эписклеры, ретикулярных сосудов, а также ЦДК [12].

Целый ряд исследований, описывающих изменения глазного кровотока у беременных [39-41], показал прогрессивное снижение сопротивления артериальных глазных сосудов при физиологической беременности.

С.Р. Шишкина и соавт.<sup>2</sup> выявили достоверное увеличение калибра конъюнктивальных и ретикулярных артериальных сосудов у женщин с физиологическим течением беременности с максимальными значениями на 28-32-й неделе гестации. Авторы связывают это

<sup>1</sup> Шишкина С.Р., Фрейдлин И.И., Аршина Ю.А. Изменение гемодинамики глаза при позднем гестозе (по данным реоофтальмографии). Депонированная рукопись № Д-23536 от 30.08.1993 в Гос. центр. науч. медиц. библиотеке.

<sup>2</sup> Шишкина С.Р., Фрейдлин И.И. Изменение гемодинамики глаза при беременности по данным реоофтальмографии. Актуальные вопросы клинической педиатрии, акушерства к гинекологин: Сб. науч. тр. Киров, 1993. С. 357-358.

с отсутствием адренергической иннервации и ауторегуляцией ретикулярных сосудов, изменение просвета которых происходит только при изменении перфузионного давления: при снижении систолического АД происходит расширение сосудов. В свою очередь, в послеродовом периоде авторами было отмечено достоверное уменьшение калибра сосудов конъюнктивы и недостоверное уменьшение диаметров сосудов сетчатки. Нормализация калибров ретикулярных сосудов у родильниц, по мнению авторов, связана с увеличением перфузионного давления в их просвете и реализацией механизма ауторегуляции.

Е.М. Шифман и соавт. по данным ЦДК установили, что у женщин с физиологическим течением беременности в III триместре на фоне нормальных цифр АД скоростные показатели в ГА практически не отличаются от таковых у небеременных женщин. В то же время в группе беременных пациенток RI в ГА был достоверно выше, а PI — достоверно ниже. Авторы выявили, что периферическое сосудистое сопротивление в ГА и уровень АД у беременных со сроком гестации более 35 недель были достоверно ниже, чем на сроках гестации менее 35 недель. С увеличением срока беременности происходит небольшое снижение PSV и существенное снижение PI в ГА [8].

М. Belfort и соавт. отмечают, что RI может отрицательно коррелировать со средней скоростью кровотока при нормальной беременности и положительно коррелировать при ПЭ в ЦАС и ГА. Авторы показали, что беременные женщины имеют более высокую EDV и более низкий RI в ЦАС по сравнению с небеременными, пременопаузальными и гипоестрогенными женщинами в менопаузе, однако достоверных изменений показателей кровотока в ГА зафиксировано не было [41].

Т. Sato и соавт., использовавшие лазерную спекл-флоуграфию для исследования глазного кровотока в области диска зрительного нерва при физиологической беременности, также установили снижение RI к III триместру при отсутствии изменений в I и II триместре, что демонстрирует снижение сопротивления ретикулярных сосудов. По мнению авторов, изменения сосудистого сопротивления зависят от функции эндотелия сосудов и эластичности гладкой мускулатуры сосудов, однако во время беременности снижение сосудистого сопротивления обуславливается преимущественно активацией функции сосудистого эндотелия [42].

М. Centofani и соавт. с помощью пневмотонометрии выявили повышение пульсационного объемного кровотока в I триместре беременности и дальнейшее его увеличение во II триместре. В отношении других параметров изменений выявлено не было. Полученные данные, по мнению авторов, также связаны с повышением уровня эстрогена, индуцирующего эндотелий-зависимую вазодилатацию в некоторых тканях [43].

В ряде исследований была подтверждена роль эстрогенов в регуляции тонуса орбитальных сосудов. Так, вазодилаторные эффекты эстрогенов были зафиксированы в исследованиях на животных и людях. При этом

были определены как эндотелий-независимые, так и эндотелий-зависимые механизмы их действия [44].

Так, E. Toker и соавт., изучавшие влияние половых гормонов на глазной кровоток у женщин методом ЦДК, установили, что у женщин в пременопаузе PSV и EDV в ГА положительно коррелировали с уровнем эстрадиола в сыворотке крови, а RI в ЦАС снижался с повышением уровня эстрадиола. В пременопаузальной группе PSV в ЦАС также коррелировала отрицательно, а RI коррелировал положительно с уровнем тестостерона. Женщины с более высоким уровнем тестостерона в постменопаузе имели более высокий RI в ГА и ЦАС. Данные авторов подтверждают зависимость между уровнями половых гормонов в сыворотке крови, скоростью кровотока и резистивными индексами в ретробульбарных артериях. Эстрадиол, по мнению авторов, благотворно влияет на глазную гемодинамику, в то время как тестостерон может действовать как антагонист эффектов эстрогена [45].

Благоприятное влияние эстрогенов на глазной кровоток, по мнению исследователей, может быть результатом релаксации гладкой мускулатуры сосудов, вызванной повышенной выработкой эндотелиальных расслабляющих факторов, таких как оксид азота и простагландин, или ингибированием высвобождения или активности сосудосуживающих веществ, таких как эндотелин и ангиотензин II. Имеются также данные, свидетельствующие о том, что влияние эстрогенов на гладкую мускулатуру сосудов частично опосредовано действием блокатора кальциевых каналов, эти эффекты связаны с наличием на эндотелиальных клетках рецепторов эстрогена [46].

Целый ряд работ посвящен исследованию глазной гемодинамики у пациенток с ПЭ. В частности, С.Р. Шишкина<sup>3</sup> выявила сужение сосудов сетчатки у пациенток с ОПГ-гестозом на фоне гипертонической болезни или нейроциркуляторной дистонии, имевших исходно высокие значения систолического АД с первых недель беременности, сохранявшиеся после родов и обусловленные нарушением регуляции сосудистого тонуса с увеличением общего периферического сопротивления сосудов. Авторы установили, что при ОПГ-гестозе сужение ретинальных сосудов происходило только при наличии артериальной гипертензии. S.J. Lupton и соавт. рассматривают сужение ретинальных сосудов как симптом, предшествующий началу ПЭ или повышению АД [47].

По данным R.H. Silverman и соавт., у беременных с ПЭ после 20-й недели гестации отмечается повышение EDV и снижение PI и RI в ЦАС и ЗКЦА в сравнении с контролем. Повышение АД при ПЭ отрицательно коррелировало с RI. Была выявлена зависимость между систолическим и диастолическим АД и средним АД и RI и отрицательная корреляция диастолического АД и PI в ЦАС и ЗКЦА [48]. Исследования Т. Nata и соавт. также показали снижение

сосудистого сопротивления в ГА у пациенток с ПЭ и повышение орбитальной перфузии [40].

Т. Nata и соавт. с помощью ЦДК сравнивали значения PI в ГА у беременных с гипертензией и физиологическим течением беременности и установили, что при тяжелой ПЭ PI был наиболее низким, а у пациенток без гипертензии — наиболее высоким. PI при умеренной ПЭ был значимо ниже, чем у преобладающей ПЭ. Не отмечалось значимых различий PI между группами с умеренной ПЭ и хронической гипертензией, преобладающей гипертензией и хронической гипертензией. Низкий PI, по мнению авторов, является показателем дилатации орбитальных сосудов, орбитальной гипоперфузии или гиперемии. У нормотензивных беременных значения PI не зависели от срока гестации. По мнению авторов, такие значения показателей свидетельствуют о том, что при тяжелой ПЭ снижение сопротивления орбитальных сосудов и повышение орбитальной перфузии выражено больше, чем при умеренной и преобладающей ПЭ [40].

О.В. Коленко и соавт. использовали данные ЦДК для оценки динамики показателей хориоретинального кровотока после курсов медикаментозной профилактики у женщин группы риска по формированию сосудистой ретинальной патологии, перенесших ПЭ, и выявили увеличение скорости кровотока в ЗКЦА. У пациенток с ПЭ к III триместру беременности были установлены более низкие значения показателей PSV, MFV, EDV в ЗКЦА в сравнении с пациентками с физиологическим течением беременности. Показатели PI и RI в группе ПЭ оказались значимо повышенными. В III триместре отмечалось снижение ЛСК в ЗКЦА на 24–30 % относительно аналогичных показателей при физиологической беременности. Спустя 6–8 мес. после родов у 76 % женщин с ПЭ исходно сниженные в III триместре средние показатели ЛСК в ЗКЦА, по данным авторов, повысились до значений группы контроля. Проведенное О.В. Коленко и соавт. исследование с ретроспективным анализом позволило выявить, что у 24 % женщин с возникшей после перенесенной ПЭ сосудистой патологией сетчатки показатели ЛСК в ЗКЦА, сниженные в III триместре, не повысились даже через 6–8 мес. после родов [49].

Как видно, данные ЦДК позволяют прогнозировать развитие сосудистой патологии у женщин во время беременности и в послеродовом периоде как общей, в частности ПЭ, так и локальной, в том числе органа зрения.

Таким образом, ЦДК активно применяется в клинической практике для исследования глазного кровотока у пациентов с ДР. Данные ЦДК позволяют прогнозировать манифестацию и прогрессирование ДР и оценивать результаты лазерного, хирургического и консервативного лечения. Благодаря неинвазивности метод ЦДК не имеет ограничений для использования у беременных пациенток. Обследование может проводиться неоднократно и на любом сроке беременности.

Беременность является фактором риска манифестации и прогрессирования ДР у женщин с СД. Постоянное

<sup>3</sup> Шишкина С.Р. Гемодинамика и гидродинамика глаза при физиологической беременности и ОПГ-гестозе: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Самара, 1996. 24 с.

изменение гормонального фона, увеличение количества проангиогенных и митогенных факторов в организме женщины, нестабильность гликемического статуса на протяжении беременности и в раннем послеродовом периоде при наличии факторов риска могут способствовать стремительному прогрессированию ДР вплоть до пролиферативной стадии [50]. Исследование глазной гемодинамики методом ЦДК, позволяющее отдифференцировать изменения кровотока, обусловленные беременностью и непосредственно СД, может стать основой для разработки критериев манифестации

и прогрессирования ДР во время беременности. Это, в свою очередь, будет способствовать выбору оптимальной тактики лечения такой группы пациенток для сохранения высоких зрительных функций. Однако в современной литературе данные об исследовании глазного кровотока у беременных женщин, страдающих СД, отсутствуют.

#### УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Помыткина Н.В. — концепция и дизайн статьи, сбор, обработка и интерпретация данных, написание текста;  
Сорокин Е.Л. — концепция и дизайн статьи, редактирование текста;  
Коленко О.В. — концепция и дизайн статьи, утверждение версии для печати.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Киселева Т.Н. Цветовое доплеровское картирование в офтальмологии. Вестник офтальмологии. 2001;117(6):50–52. Kiseleva TN. Color Doppler Imaging in Ophthalmology. Annals of ophthalmology. 2001;117(6):50–52 (In Russ.).
2. Lieb WE, Flaharty PM, Sergott RC, Medlock RD, Brown GC, Bosley T, Savino PJ. Color Doppler imaging provides accurate assessment of orbital blood flow in occlusive carotid artery disease. Ophthalmology. 1991;98(4):548–552. doi: 10.1016/s0161-6420(91)32257-7.
3. Lieb WE, Cohen SM, Merton DA, Shields JA, Mitchell DG, Goldberg BB. Color Doppler imaging of the eye and orbit. Technique and normal vascular anatomy. Arch Ophthalmol. 1991;109(4):527–531. doi: 10.1001/archoph.1991.01080040095036.
4. Stalmans I, Vandewalle E, Anderson DR, Costa VP, Frenkel RE, Garhofer G, Grunwald J, Gugleta K, Harris A, Hudson C, Januleviciene I, Kagemann L, Kergoat H, Lovasik JV, Lanzl I, Martinez A, Nguyen QD, Plange N, Reitsamer HA, Sehi M, Siesky B, Zeitl O, Orgül S, Schmetterer L. Use of colour Doppler imaging in ocular blood flow research. Acta Ophthalmol. 2011;89(8):e609–630. doi: 10.1111/j.1755-3768.2011.02178.x.
5. Spencer JA, Giussani DA, Moore PJ, Hanson MA. In vitro validation of Doppler indices using blood and water. J Ultrasound Med. 1991;10(6):305–308. doi: 10.7863/jum.1991.10.6.305.
6. Pourcelot L, Lethiecq M, Patat F, Roncin A, Tranquart F, Berson M. Ultrasound: present and future. Technol Health Care. 1996;4(1):31–36. doi: 10.3233/THC-1996-4105.
7. Polska E, Kircher K, Ehrlich P, Vecsei PV, Schmetterer L. RI in central retinal artery as assessed by CDI does not correspond to retinal vascular resistance. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2001;280(4):H1442–H1447. doi: 10.1152/ajpheart.2001.280.4.H1442.
8. Шифман Е.М., Храмыченко Н.В. Состояние гемодинамики глазных артерий и верхних глазных вен у женщин. Российский медицинский журнал. 2013;2:20–23. Shifman EM, Khrantchenko NV. The hemodynamics status of ophthalmic arteries and superior ophthalmic veins in women. Medical Journal of the Russian Federation. 2013;2:20–23 (In Russ.).
9. Kiss B, Dallinger S, Polak K, Findl O, Eichler HG, Schmetterer L. Ocular hemodynamics during isometric exercise. Microvasc Res. 2001;61(1):1–13. doi: 10.1006/mvres.2000.2269.
10. Luksch A, Lasta M, Polak K, Fuchsjaeger-Mayrl G, Polska E, Garhofer G, Schmetterer L. Twelve-hour reproducibility of retinal and optic nerve blood flow parameters in healthy individuals. Acta Ophthalmol. 2009;87(8):875–880. doi: 10.1111/j.1755-3768.2008.01388.x.
11. Costa VP, Harris A, Stefánsson E, Flammer J, Kriegelstein GK, Orzalesi N, Heijl A, Renard JP, Serra LM. The effects of antiglaucoma and systemic medications on ocular blood flow. Progr Retin Eye Res. 2003;22(6):769–805. doi: 10.1016/s1350-9462(03)00064-8.
12. Matias DS, Costa RE, Matias BS, Cláudio Lemos Correia L. Doppler velocimetry of the orbital vessels in pregnancies complicated by preeclampsia. J Clin Ultrasound. 2012;40(9):576–585. doi: 10.1002/jcu.21949.
13. Lieb WE, Flaharty PM, Sergott RC. Color Doppler imaging of the eye and orbit. A synopsis of a 400 case experience. Acta Ophthalmol Suppl. 1992;204:50–54. doi: 10.1111/j.1755-3768.1992.tb04924.x.
14. Kohner EM, Hamilton AM, Saunders SJ, Sutcliffe BA, Bulpitt CJ. The retinal blood flow in diabetes. Diabetologia. 1975;11(1):27–33. doi: 10.1007/bf00422814.
15. Gracner T. Ocular blood flow velocity determined by color Doppler imaging in diabetic retinopathy. Ophthalmologica. 2004;218(4):237–242. doi: 10.1159/000078613.
16. Нероев В.В., Зайцева О.В., Киселева Т.Н., Рамазанова К.А., Курчаева З.В. Особенности глазного кровотока у пациентов с осложненной пролиферативной диабетической ретинопатией. Медицинская визуализация. 2016;1:18–24. Neroyev VV, Zaytseva OV, Kiseleva TN, Ramazanova KA, Kurchaeva ZV. Ocular blood flow in patients with complicated proliferative diabetic retinopathy. Medical Visualization. 2016;1:18–24 (In Russ.).
17. Evans DW, Harris A, Danis RP, Arend O, Martin BJ. Altered retrobulbar vascular reactivity in early diabetic retinopathy. Br J Ophthalmol. 1997;81(4):279–282. doi: 10.1136/bjo.81.4.279.
18. Michelson G, Patzelt A, Harazny J. Flickering light increases retinal blood flow. Retina. 2002;22(3):336–343. doi: 10.1097/00006982-200206000-00013.
19. Modrzejewska M, Pięnkowska-Machoy E, Grzesiak W, Karczewicz D, Wilk G. Predictive value of color Doppler imaging in an evaluation of retrobulbar blood flow perturbation in young type-1 diabetic patients with regard to dyslipidemia. Med Sci Monit. 2008;14(10):MT47–52.
20. Krasnicki P, Mariak Z, Zystymowicz A, Proniewska-Skrettek E. Assessment of blood flow in the ocular circulation in type 2 diabetes patients with Color Doppler imaging. Klin Oczna. 2006;108(7–9):294–298.
21. Meng N, Liu J, Zhang Y, Ma J, Li H, Qu Y. Color Doppler imaging analysis of retrobulbar blood flow velocities in diabetic patients without or with retinopathy: a meta-analysis. J Ultrasound Med. 2014;33(8):1381–1389. doi: 10.7863/ultra.33.8.1381.
22. Малышева Н.А., Масленникова Е.А. Доплерография глазничной артерии как способ объективизации ранней диагностики непролиферативной диабетической ретинопатии у детей, больных сахарным диабетом 1-го типа. Современные технологии в медицине. 2011;2:143–145. Malysheva NA, Maslennikova EA. Dopplerography of ophthalmic artery is an objective way of early diagnosis of non-proliferative diabetic retinopathy in children with diabetes mellitus type 1. Modern technologies in medicine. 2011;2:143–145 (In Russ.).
23. Нероев В.В., Колчин А.А., Киселева Т.Н., Зуева М.В., Цапенко И.В., Рыбина М.В., Гринченко М.И. Изменение гемодинамики глаза и функциональной активности сетчатки у пациентов с непролиферативной диабетической ретинопатией. Российский офтальмологический журнал. 2013;6(2):58–64. Neroyev VV, Kolchin AA, Kiseleva TN, Zueva MV, Tsapenko IV, Ryabina MV, Grinchenko MI. Eye hemodynamics and retinal functional activity alterations in patients with nonproliferative diabetic retinopathy. Russian Ophthalmological Journal. 2013;6(2):58–64 (In Russ.).
24. Ольхова Е.Б., Слободина О.Р. Возможности ультразвуковой диагностики в оценке непролиферативной формы ретинопатии у больных сахарным диабетом II типа. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2009;8(2):17–21. Ol'khova EB, Slobodina OR. Ultrasound diagnostics in non-proliferative retinopathy in patients with diabetes mellitus type II. Regional circulation and microcirculation. 2009;8(2):17–21 (In Russ.).
25. Журабекова А.З., Кангилбаева Г.Э., Миррахимова С.Ш. Влияние комплексного лечения на гемодинамику глаза при непролиферативной диабетической ретинопатии. Журнал теоретической и клинической медицины. 2018;1:102–104. Zhurabekova AZ, Kangilbayeva GE, Mirrakhimova SSh. Effect of complex treatment on eye hemodynamics in non-proliferative diabetic retinopathy. Journal of Theoretical and Clinical Medicine. 2018;1:102–104 (In Russ.).
26. Азнабаев Б.М., Габдрахманова А.Ф., Мухамедеев Т.Р., Галлямова Г.Р., Александров А.А. Офтальмонейропротекция при непролиферативной диабетической ретинопатии и гемодинамика глаза. Российский медицинский журнал. Клиническая офтальмология. 2014;14(2):71–76. Aznaboev BM, Gabdrakhmanova AF, Muhamadeev TR, Gallyamova GR, Alexandrov AA. Ophthalmoneuroprotection in nonproliferative diabetic retinopathy and eye hemodynamics. Russian Medical Journal. Clinical Ophthalmology. 2014;14(2):71–76 (In Russ.).
27. Patel V, Rassam S, Newsom R, Kohner E. Retinal bloodflow in diabetic retinopathy. BMJ. 1992;305(6855):678–683. doi: 10.1136/bmj.305.6855.678.
28. Fujioka S, Karashima K, Nishikawa N, Saito Y. Correlation between higher blood flow velocity in the central retinal vein than in the central retinal artery and severity of nonproliferative diabetic retinopathy. Jpn J Ophthalmol. 2006;50(4):312–317. doi: 10.1007/s10384-005-0338-1.
29. Экхардт В.Ф., Скребков А.И., Светличная И.В., Курицына О.А. Гемодинамика в сосудах глаза и орбиты у больных диабетической ретинопатией. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2006;3:141. Ekhardt VF, Skrebkov AI, Svetlichnaya IV, Kuritsyna OA. Hemodynamics in the vessels of the eye and orbit in patients with diabetic retinopathy. Ultrasonic and functional diagnostics. 2006;3:141 (In Russ.).
30. Dimitrova G, Kato S, Yamashita H, Tamaki Y, Nagahara M, Fukushima H, Kitano S. Relation between retrobulbar circulation and progression of diabetic retinopathy. Br J Ophthalmol. 2003;87(5):622–625. doi: 10.1136/bjo.87.5.622.
31. Neidofer M, Kessler R, Goldenberg D, Lavie A, Kessler A. Retrobulbar blood flow changes in eyes with diabetic retinopathy: a 10-year follow-up study. Clin Ophthalmol. 2014;8:2325–2332. doi: 10.2147/OPHT.71158.

32. Нероев В.В., Киселева Т.Н., Зайцева О.В., Кружкова Г.В., Кузнецова И.С. Исследование гемодинамики в сосудах глаза и орбиты у пациентов с пролиферативной витреоретинопатией при регматогенной отслойке сетчатки. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2012;11(3):23–27. Neroyev VV, Kiseleva TN, Zaitseva OV, Kruzchkova GV, Kuznetsova IS. Circulatory parameters in the vessels of eye and orbit in regmatogenous retinal detachment with proliferative vitreoretinopathy. Regional blood circulation and microcirculation 2012;11(3):23–27 (In Russ.).
33. Габдрахманова А.Ф., Галлямова Г.Р., Александров А.А. Состояние гемодинамики глаза при диабетической ретинопатии и офтальмонейропротекции. Медицинский вестник Башкортостана. 2014;9(2):110–114. Gabdrakhmanova AF, Gallyamova GR, Aleksandrov AA. The eye hemodynamics status in diabetic retinopathy and ophthalmoneuroprotection. Medical Bulletin of Bashkortostan = Meditsinskiy vestnik Bashkortostana. 2014;9(2):110–114 (In Russ.).
34. Влазнева И.Н., Пилягина А.А. Гемодинамика глаза при диабетической ретинопатии по данным цветового доплеровского картирования. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2015;20(3):535–538. Vlazneva IN, Pilyagina AA. Ocular hemodynamics in diabetic retinopathy according to the color Doppler imaging data. Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences 2015;20(3):535–538 (In Russ.).
35. Самойлов А.Н., Хафизьянова Р.Х., Гайнутдинова Р.Ф., Гилязова А.Р., Тухбатуллин М.Г. Допплерография сосудов глаза и оптическая когерентная томография сетчатки в оценке эффективности лечения больных диабетической ретинопатией. Казанский медицинский журнал. 2012;93(6):985–989. Samoilov AN, Khafizjanova RH, Gainutdinova RF, Gilyazova AR, Tukhbatullin MG. Eye vessels doppler sonography and optical coherence tomography in assessing the effectiveness of treatment of patients with diabetic retinopathy. Kazan Medical Journal = Kazanskiy meditsinskiy zhurnal. 2012;93(6):985–989 (In Russ.). doi: 10.17816/kmj2126.
36. Нероев В.В., Колчин А.А., Зуева М.В., Киселева Т.Н., Рябина М.В., Цапенко И.В. Изменение функциональной активности сетчатки и гемодинамики глаза у пациентов с тяжелыми стадиями диабетической ретинопатии. Российский офтальмологический журнал. 2014;7(3):19–26. Neroyev VV, Kolchin AA, Zueva MV, Kiseleva TN, Ryabina MV, Tsapenko IV. Changes in eye hemodynamics and functional activity of the retina in patients with severe stages of diabetic retinopathy. Russian Ophthalmological Journal = Rossiyskiy oftalmologicheskii zhurnal. 2014;7(3):19–26 (In Russ.).
37. Нероев В.В., Киселева Т.Н., Охоцкая Т.Д., Фадеева В.А., Рамазанова К.А. Влияние ангиогенной терапии на глазной кровотоке и микроциркуляцию при диабетическом макулярном отеке. Вестник офтальмологии. 2018;134(4):3–10. Neroyev VV, Kiseleva TN, Okhotsimskaya TD, Fadeeva VA, Ramasanova KA. Impact of antiangiogenic therapy on ocular blood flow and microcirculation in diabetic macular edema. Annals of ophthalmology. 2018;134(4):3–10 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma20181340413.
38. Колчин А.А., Киселева Т.Н., Зуева М.В., Рябина М.В. Глазной кровотоке и его изменения у больных сахарным диабетом. Вестник офтальмологии. 2012;128(2):60–65. Kolchin AA, Kiseleva TN, Zueva MV, Ryabina MV. Eye blood flow and its changes in patients with diabetes mellitus. Annals of ophthalmology. 2012;128(2):60–65 (In Russ.).
39. Best RM, Chakravarthy U. Diabetic retinopathy in pregnancy. Br J Ophthalmol. 1997;81(3):249–251. doi: 10.1136/bjo.81.3.249.
40. Hata T, Hata K, Moritake K. Maternal ophthalmic artery Doppler velocimetry in normotensive pregnancies and pregnancies complicated by hypertensive disorders. Am J Obstet Gynecol. 1997;177(1):174–178. doi: 10.1016/s0002-9378(97)70458-7.
41. Belfort M, Saade GR, Grunewald C, Dildy G, Varner M, Nisell H. Effects of blood pressure on orbital and middle cerebral artery resistances in healthy pregnant women and women with preeclampsia. Am J Obstet Gynecol. 1999;180(3Pt1):601–607. doi: 10.1016/s0002-9378(99)70261-9.
42. Sato T, Sugawara J, Aizawa N, Iwama N, Takahashi F, Nakamura-Kurakata M, Saito M, Sugiyama T, Kunikata H, Nakazawa T, Yaegashi N. Longitudinal changes of ocular blood flow using laser speckle flowgraphy during normal pregnancy. PLoS One. 2017;12(3):e0173127. doi: 10.1371/journal.pone.0173127.
43. Centofanti M, Migliardi R, Bonini S, Manni G, Bucci MG, Pesavento CB, Amin CS, Harris A. Pulsatile ocular blood flow during pregnancy. Eur J Ophthalmol. 2002;12(4):276–280. doi: 10.1177/112067210201200404.
44. Miller VM, Gisclard V, Vanhoutte PM. Modulation of endothelium-dependent and vascular smooth muscle responses by oestrogens. Phlebology. 1988;224:19–22.
45. Toker E, Yenice O, Akpınar I, Arıbal E, Kazokoglu H. The influence of sex hormones on ocular blood flow in women. Acta Ophthalmol Scand. 2003;81(6):617–624. doi: 10.1111/j.1395-3907.2003.00160.x.
46. Mikkola T, Viinikka L, Ylikorkala O. Eestrogen and postmenopausal oestrogen/progesterin therapy: effect on endothelium dependent prostacyclin, nitric oxide and endothelin-1 production. Eur J Obstet Gynaecol Reprod Biol. 1998;79(1):75–82. doi: 10.1016/s0301-2115(98)00050-5.
47. Lupton SJ, Chiu CL, Hodgson LA, Toether J, Lujic S, Ogle R, Wong T, Hennessy A, Lind J. Temporal changes in retinal microvascular caliber and blood pressure during pregnancy. Hypertension. 2013;61(4):880–885. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.111.00698.
48. Silverman RH, Urs R, Wapner RJ, Bearely S. Plane-wave ultrasound Doppler of the eye in preeclampsia. Transl Vis Sci Technol. 2020;9(10):14. doi: 10.1167/tvst.9.10.14.
49. Коленко О.В., Сорокин Е.Л., Филь А.А. Динамика показателей хориоретинальной гемодинамики после курсов медикаментозной профилактики у женщин группы риска по формированию сосудистой ретикулярной патологии. Тихоокеанский медицинский журнал. 2020;3:39–42. Kolenko OV, Sorokin EL, Fil AA. The dynamics of chorioretinal hemodynamics after courses of preventive care in women at risk for the formation of vascular retinal pathology. Pacific Medical Journal. 2020;3:39–42 (In Russ.). doi: 10.34215/1609-1175-2020-3-39-42.
50. Chan WC, Lim LT, Quinn MJ, Knox FA, McCance D, Best RM. Management and outcome of sight-threatening diabetic retinopathy in pregnancy. Eye. 2004;18(8):826–832. doi: 10.1038/sj.eye.6701340.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Хабаровский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Помыткина Наталья Викторовна  
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог отделения лазерной хирургии  
ул. Тихоокеанская, 211, Хабаровск, 680033, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0003-3757-8351>

Хабаровский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Дальневосточный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Сорокин Евгений Леонидович  
доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе; профессор кафедры общей и клинической хирургии  
ул. Тихоокеанская, 211, Хабаровск, 680033, Российская Федерация  
ул. Муравьева-Амурского, 35, Хабаровск, 680000, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-2028-1140>

Хабаровский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
КГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения» Министерства здравоохранения Хабаровского края  
Коленко Олег Владимирович  
доктор медицинских наук, директор; профессор кафедры офтальмологии  
ул. Тихоокеанская, 211, Хабаровск, 680033, Российская Федерация  
ул. Краснодарская, 9, Хабаровск, 680000, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0001-7501-5571>

## ABOUT THE AUTHORS

Khabarovsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Pomytkina Natalia V.  
Ph.D., ophthalmologist of the Laser surgery department  
Tikhookeanskaya str., 211, Khabarovsk, 680033, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0003-3757-8351>

Khabarovsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Far Eastern State Medical University  
Sorokin Evgenii L.  
MD, Professor, Deputy Head on Science Work; Professor of the General and clinical surgery department  
Tikhookeanskaya str., 211, Khabarovsk, 680033, Russian Federation  
Murav'yeva-Amurskogo str., 35, Khabarovsk, 680000, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0002-2028-1140>

Khabarovsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Postgraduate Institute for Public Health Workers  
Kolenko Oleg V.  
MD, Head, Professor of the Ophthalmology department  
Tikhookeanskaya str., 211, Khabarovsk, 680033, Russian Federation  
Krasnodarskaya str., 9, Khabarovsk, 680000, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0001-7501-5571>