

Методы оценки глазного кровотока при сосудистой патологии глаза

*Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им. Гельмгольца
105062, Россия, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, 14/19
e-mail: narine99@mail.ru*

Реферат

В обзоре представлены наиболее распространенные современные методы оценки глазной микроциркуляции: цветное доплеровское картирование, энергетическое картирование, лазерная доплеровская флоуметрия, флюоресцентная ангиография и индоцианин-зеленая ангиография, фоторегистрация глазного дна с калибровкой ретинальных сосудов, анализ пульсового глазного кровотока, ОКТ-ангиография. Эти методы дают возможность оценки нарушений кровообращения в сосудах сетчатки и зрительного нерва, являются высокоинформативными в ранней диагностике сосудистой патологии глаза.

Ключевые слова: глазной кровоток, калибровка ретинальных сосудов, флюоресцентная ангиография, ОКТ-ангиография.

В настоящее время наряду с хорошо известными инструментальными методами диагностики сосудистой патологии органа зрения, применяются новые высокотехнологичные методы исследования микроциркуляции глаза, позволяющие наиболее достоверно оценивать степень нарушения кровообращения в сосудах глазного яблока [1, 5, 12].

Благодаря развитию неинвазивных ультразвуковых методов исследования появилась возможность более детально изучать состояние кровотока в сосудах глазного яблока у лиц с сосудистой патологией органа зрения [1, 6, 7, 22, 46].

Ультразвуковые методы основаны на эффекте Доплера, суть которого состоит в изменении частоты посылаемых ультразвуковых волн при отражении их от движущихся форменных элементов крови [31]. Данные методы предоставляют уникальную информацию о физиологии кровообращения в данном сосуде. Одним из современных ультразвуковых методов диагностики сосудистой патологии глаза в офтальмологии является цветное доплеровское картирование (ЦДК), которое позволяет локализовать сосуды малого калибра благодаря визуализации цветовой картограммы потока в его просвете при наложении цвета на его двумерное изображение. С помощью данного метода можно оценить анатомические особенности расположения сосудов, наличие деформаций и установить связь со степенью выраженности васкулярных поражений. Методика дает возможность визуализировать кровоток в орбитальных сосудах, таких как глазная артерия и ее ветви (центральная артерия сетчатки, задние короткие цилиарные артерии и др.), и получать данные о состоянии венозного кровотока. С помощью импульсно-волновой доплерографии можно оценивать гемодинамику в сосудах глаза путем анализа спектра доплеровского сдвига частот (СДСЧ) и изменения скоростей кровотока: максимальной систолической скорости (V_{syst}), конечной диастолической скорости (V_{diast}) и

средней скорости (V_{mean}). Для получения информации о состоянии сосудистой системы проксимальнее и дистальнее исследуемого сосуда определяют индекс резистентности (RI). Для проведения ультразвуковых доплеровских исследований в офтальмологии используют multifunctional ультразвуковые системы общего медицинского назначения (Voluson, Siemens, Hitachi, Toshiba) и линейные датчики с частотой от 10 до 16 МГц с учетом безопасности режимов. Для визуализации мелких сосудов и измерения низкоскоростного кровотока используют энергетическое картирование (ЭК), при котором анализируется амплитуда сигналов, отраженных от эритроцитов в заданном объеме.

Первое исследование по применению ЦДК для оценки ретробульбарной циркуляции было проведено N. E. Lieb et al. в 1991 году у больных с окклюзионными поражениями сонных артерий [38]. Авторы наблюдали снижение линейной скорости кровотока в ретробульбарных сосудах у больных с выраженным стенозирующим атеросклерозом сонных артерий.

В настоящее время метод ЦДК широко используют в диагностике острых нарушений кровообращения в артериальной и венозной системе глаза для определения степени выраженности изменений сосудов зрительного нерва и сетчатки и оценки состояния орбитального кровотока после лечебных мероприятий [1–3, 5, 33, 34]. Ряд авторов установили информативность ЦДК в дифференциальной диагностике ишемического и неишемического типов окклюзии ретинальных вен [4, 15, 16–20, 28–30, 47, 49]. Киселевой Т. Н. и др. представлены признаки, характерные для нарушения кровотока в ГА при глазном ишемическом синдроме: ретроградный кровоток, асимметрия пиковой систолической скорости кровотока более 30 %, снижение пиковой систолической и средней скорости кровотока на 40 % и более по сравнению с нормой и увеличение индекса пульсации [3, 5, 7, 10].

Е. А. Friedman et al. [24, 25], используя ЦДК, пришли к выводу, что клинические симптомы возрастной макулярной дегенерации могут быть обусловлены ухудшением хориоидальной перфузии и замедлением кровотока в задних коротких цилиарных артериях. Многие авторы отмечают существенное снижение показателей скорости кровотока и повышение индекса периферического сопротивления в артериях глаза как при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ), так и при глаукоме нормального давления (ГНД) [14, 27, 30, 36, 42, 45]. Клинические исследования показали, что снижение глазного и орбитального кровотока при ГНД и ПОУГ позволяет рассматривать сосудистый фактор как один из ведущих в патогенезе заболевания. У больных сахарным диабетом с диабетической ретинопатией препролиферативной и пролиферативной стадии выявлены выраженные изменения ретинального и хориоидального кровообращения и увеличение вазорезистентности в орбитальных сосудах.

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) позволяет неинвазивно исследовать капиллярный кровоток сетчатки с помощью модифицированной фундус-камеры с интегрированной конфокальной оптической системой с блоком сканирования и оптическим датчиком. Во время исследования сетчатка сканируется инфракрасным лазерным лучом, который фокусируется на исследуемом участке диаметром около 160 мкм, затем отражается или рассеивается от движущихся эритроцитов с определением частоты отраженных сигналов (эффект Доплера). Флоуметры фиксируют изменения в доплеровском сдвиге частот локально с последующей количественной оценкой скорости кровотока в микроциркуляторном русле. Неподвижные структуры не подвергаются доплеровскому анализу сдвига частот. В перфузируемой ткани фотоны рассеиваются движущимися эритроцитами и статическими компонентами крови, продуцируя целый ряд частотных сдвигов. При столкновении фотонов с движущимися эритроцитами происходит доплеровское смещение частот, пропорциональное вязкости крови и углу рассеивания света. С помощью этого метода регистрируют следующие параметры: средняя скорость эритроцитов, движущихся в исследуемом объеме; объем кровотока в сосудах (количество движущихся частиц в исследуемом объеме) и состояние потока (скорость×объем). ЛДФ позволяет исследовать кровоток в капиллярах, питающих ДЗН, при направлении лазерного луча на участки ДЗН, лишенные крупных видимых сосудов. Впервые в офтальмологии ЛДФ была проведена в 1972 г. С. Riva et al. в эксперименте для измерения скорости движения эритроцитов в ретинальных артериях кроликов [44].

На сегодняшний день ЛДФ используется зарубежными и отечественными исследователями в оценке ретинального капиллярного кровотока при глаукоме, сахарном диабете, тапеторетинальной абитрофии, окклюзионных поражениях артерий и вен сетчатки, возрастной макулярной дегенерации [11, 23]. Наряду с неинвазивными методами исследования, в диагностике сосудистой патологии органа зрения

широко используется флюоресцентная ангиография (ФАГ). Принцип метода состоит в том, что большая часть (80 %) флюоресцеина-натрия, введенного в кровяное русло, связывается с белками сыворотки крови, а остальные 20 % остаются несвязанными, или «свободными». В норме эндотелий капилляров и пигментный эпителий сетчатки, а также стенки ретинальных и хориоидальных сосудов не пропускают связанные и «свободные» молекулы флюоресцеина. Другими свойствами обладают хориокапилляры, через стенки которых свободные молекулы флюоресцеина беспрепятственно выходят в экстраваскулярное пространство. После внутривенного введения красителя проводят серийно фотоснимки глазного дна (примерно 1 снимок в 1 с, всего 20 кадров). Флюоресценция ретинальных артерий появляется через 5–20 с после введения препарата. Флюоресценция сосудов сетчатки на фоне высокого контраста окружающей ткани дает возможность видеть мелкие сосуды — артериолы, вены, капилляры, а также проследить процессы циркуляции крови в них.

При оценке ангиограмм глазного дна необходимо учитывать длительность каждой фазы ангиографии, характер распределения флюоресцеина в каждой из анатомически дифференцируемых областей глазного дна и наличие участков гипо- и гиперфлюоресценции. ФАГ нашла широкое применение в офтальмологии для исследования ретинальной циркуляции при диабетической ретинопатии, тромбозах центральной вены сетчатки и ее ветвей, дистрофических, сосудистых и онкологических заболеваниях глаз [4, 16–20]. Метод широко применяется для определения участков повышенной сосудистой проницаемости, ишемии, дефектов пигментного эпителия сетчатки, неоваскуляризации и других сосудистых нарушений.

В настоящее время ФАГ считают важным диагностическим тестом у пациентов с гипертонической болезнью и стенозирующим атеросклерозом [12, 37]. Этот метод позволяет выявить при гипертонической ретинопатии аномалии калибра сосудов, особенно артериол сетчатки, участки отсутствия капиллярной перфузии на глазном дне, наряду с которыми может выявляться прокрашивание стенок капилляров и пропотевание флюоресцеина из них [9]. Нефлюоресцирующие участки могут соответствовать кровоизлияниям, ватообразные очаги (ишемические инфаркты сетчатки) имеют вид «матового стекла» в пораженных зонах. При злокачественной гипертензии выявляют обширные очаги отсутствия перфузии за счет обструкции капиллярного русла, зону просачивания красителя в перипапиллярной зоне, а также изменения хориоидеи в виде зон хориоретинальной атрофии.

Установлены диагностические критерии нарушения проходимости сонных артерий при использовании ФАГ: асимметрия показателя времени «рука – сетчатка» между двумя глазами более 2 с; абсолютное удлинение ранней хориоидальной и ранней артериальной фазы более 13 с; увеличение времени артериальной циркуляции более 3 с; времени венозной циркуляции более 8 с и времени ретинальной циркуляции более 11 с; нарушение

ОБЗОРЫ

нормального времени соотношения между ранней артериальной и ранней хориоидальной фазой; ламинарный ток флюоресцеина в артериолах сетчатки [47]. Диагностическая значимость флюоресцентной ангиографии в оценке проходимости сонных артерий для гемодинамически значимых стенозов и окклюзии составляет 73–93 % [26, 48].

Однако метод ангиографии с использованием флюоресцеина имеет ограничения при оценке хориоидальной циркуляции. Для визуализации и оценки сосудистого русла хориоидеи применяется инфракрасная абсорбционная ангиография с индоцианином зеленым. Метод впервые был введен в клиническую практику R. W. Flower в 70-х гг. и включает в себя использование контрастирующего препарата индоцианина зеленого, имеющего спектр поглощения в области инфракрасных лучей с максимумом около 800 нм. Индоцианин зеленый, циркулирующий в крови, в отличие от флюоресцеина, соединяется с протеинами плазмы, поэтому не выходит из хориокапилляров. Ангиография с индоцианином зеленым также дает возможность наблюдать инфракрасную флюоресценцию диска зрительного нерва и изучить папиллярную циркуляцию благодаря исследованию заполнения перипапиллярной сосудистой сети. Кроме того, ангиография с индоцианином зеленым представляет большую ценность для выявления хориоидальной неоваскуляризации у пациентов с возрастной макулярной дегенерацией, осложненной миопией и другими заболеваниями глазного дна [26, 48].

Огромное значение в оценке изменения сосудов сетчатки при системных заболеваниях и сосудистой патологии глаза принадлежит фоторегистрации глазного дна с последующей калиброметрией ретинальных сосудов.

Метод оценки калибра сосудов основан на принципе цифровой обработки фотографий глазного дна, полученных при помощи фундус-камеры или современных ангиографических приборов. Суть методики заключается в регистрации диаметра кровеносного сосуда с помощью встроенного программного обеспечения.

Большинство исследователей считают ретинальные сосуды уникальным объектом для изучения особенностей системной микроциркуляции. Изменения на глазном дне отражают системные сосудистые изменения в других органах, предоставляют информацию о факторах риска и индикаторах сосудистых заболеваний сердца, мозга, почек и глаза.

Изучение функционального состояния ретинальных сосудов имеет большое значение для изучения патогенеза, а также для ранней и дифференциальной диагностики нарушений кровообращения сетчатки, в диагностике гипертонической и диабетической ретинопатии, глаукомы и т. д. [1, 2, 8, 9, 33–35, 46, 48, 49]. С этой целью применяют также динамическую калиброметрию сосудов сетчатки. Динамический метод измерения диаметра сосудов сетчатки в реальном времени осуществляется с помощью анализатора сосудов сетчатки (Retinal Vessel Analyzer, RVA) и позволяет измерять с высокой точностью диаметр

сосудов сетчатки и его изменения в течение времени. С помощью RVA, как правило, измеряют диаметр видимого потока эритроцитов, а не внешний или внутренний диаметры сосудов, поскольку в условиях освещения фундус-камерой стенки сосудов сетчатки и тонкий слой плазмы крови внутри сосуда остаются невидимыми.

В последние годы большой интерес представляет исследование микроциркуляции с применением анализатора пульсового глазного кровотока. В основе метода лежит определение пульсового объема кровотока в зависимости от колебаний внутриглазного давления (ВГД) во время сердечного цикла. Пульсовый объем характеризует часть объема крови, которая во время систолы поступает в сосуды глазного яблока. Для проведения метода используют модифицированный высокочувствительный пневмотонометр, соединенный с микрокомпьютером, который регистрирует глазной пульс. Максимальные и минимальные показатели амплитуды соответствуют так называемому систолическому и диастолическому ВГД. Прибор позволяет в течение нескольких секунд получить кривую в форме волны, показывающую флуктуацию ВГД, зависящую от пульсового наполнения глаза. Полученные данные, по мнению некоторых авторов, позволяют рассчитывать показатели индивидуального ВГД, что имеет огромное значение в ранней диагностике глаукомы.

На сегодняшний день одним из самых распространенных и точных методов диагностики патологии сетчатки является оптическая когерентная томография (ОКТ), которая позволяет провести количественную и качественную оценку состояния сетчатки. ОКТ-ангиография – одна из последних модификаций метода, которая дает возможность определить локализацию патологических изменений в различных слоях сетчатки и детально оценить сосудистую сеть на уровне различных структур глазного дна [39–41, 47]. Метод является неинвазивным, не имеет побочных эффектов и противопоказаний, т. к. исследование сосудов сетчатки осуществляется без применения красителя. С помощью ОКТ-ангиографии визуализируют зоны микрососудистых аномалий в макулярной области [21, 32]. При окклюзионном поражении ретинальных вен получают изображение сети сосудов с поврежденного участка и отсутствием капилляров проксимальнее зоны окклюзии. По мнению Bruno Lumbroso, диагностическая ценность ОКТ-ангиографии значительно возрастет в течение ближайших нескольких лет [21, 39, 40]. На сегодняшний день имеются сведения о высокой информативности метода в диагностике микроокклюзионных поражений сосудов глазного дна, глаукомы, возрастной макулярной дегенерации.

Таким образом, в современной литературе широко представлены как инвазивные, так и неинвазивные методы исследования в диагностике сосудистой патологии органа зрения. Учитывая общность кровоснабжения глаза и головного мозга, исследование глазной микроциркуляции приобретает огромное значение в ранней диагностике нарушения мозгового кровообращения.

Дальнейшее совершенствование методов диагностики патологии ретинальной циркуляции с использованием современных высокотехнологичных

методов позволит повысить эффективность лечения и профилактики поражения органа зрения при сердечно-сосудистой патологии.

Литература

1. Аджемьян Н. А. Комплексное исследование гемодинамики глаза у пациентов с субклиническим атеросклерозом // *Мед. визуализация*. № 3. 2015. С. 43–48.
2. Аджемьян Н. А., Киселева Т. Н., Ежов М. В. и др. Ретинальный и орбитальный кровоток у пациентов с субклиническим атеросклерозом // *Ангиология: инновационные технологии в диагностике и лечении заболеваний сосудов и сердца. Интервенционная кардиология: Материалы IV Международ. мед. науч.-практ. форума*. Челябинск, 2015. С. 51–52.
3. Астахов Ю. С., Джалиливили О. А. Современные направления в изучении гемодинамики глаза при глаукоме // *Офтальмолог. журн.* 1990. № 3. С. 179–183.
4. Астахов Ю. С., Петрицев Н. Н., Тульцева С. Н., Варганова Т. С. Тромбофилии в патогенезе тромбоза ретинальных вен // *Вестник офтальмол.* М., 2008. Т. 124. № 3. С. 56–58.
5. Киселева Т. Н. Глазной ишемический синдром (клиника, диагностика, лечение): дис. ... д-ра мед. наук. М., 2001. 162 с.
6. Киселева Т. Н. Цветовое доплеровское картирование в офтальмологии // *Вестник офтальмол.* 2001. № 6. С. 51–53.
7. Киселева Т. Н. Ультразвуковые методы исследования кровотока в диагностике ишемических поражений глаза // *Вестник офтальмол.* 2004. № 4. С. 3–5.
8. Киселева Т. Н., Аджемьян Н. А., Ежов М. В., Ильина Н. В. Изменение гемодинамики глаза у пациентов с артериальной гипертонией I–II степени // *X Съезд офтальмол. России: сб. тез. докл.* М., 2015.
9. Киселева Т. Н., Ежов М. В., Аджемьян Н. А. Нарушение ретинальной циркуляции при артериальной гипертонии // *Фарматека*. 2014. № 20 (293). С. 14–18.
10. Киселева Т. Н., Кошечкина О. П., Полунин Г. С. и др. Коррекция нарушений гемодинамики при окклюзии ретинальных вен // *Рефракционная хирургия и офтальмол.* 2007. Т. 7. № 4. С. 36–39.
11. Киселева Т. Н., Лагутина Ю. М., Кравчук Е. А., Гавриленко А. В. Особенности глазного кровотока и состояния брахиоцефальных артерий у больных с неэкссудативной возрастной макулярной дегенерацией // *Вестник офтальмол.* 2006. № 5. С. 12–14.
12. Киселева Т. Н., Тарасова Л. Н., Фокин А. А. Глазной ишемический синдром. М.: Медицина. 2003. 173 с.
13. Киселева Т. Н., Тарутта Е. П., Тарасова Н. А. Исследование показателей гемодинамики в сосудах глаза на фоне комплексного функционального лечения близорукости // *Региональное кровообращение и микроциркуляция*. 2013. Т. 12. № 4 (48). С. 20–23.
14. Курышева Н. И., Киселева Т. Н., Иртегова Е. Ю. Сравнительная характеристика показателей глазного кровотока при глаукоме нормального давления и первичной глаукоме с повышенным офтальмотонусом // *Сб. науч. тр. XI Всеросс. школы офтальмол.* М., 2012. С. 89–92.
15. 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.
16. Танковский В. Э. Тромбозы вен сетчатки. М.: Медицина, 2000. 145 с.
17. Тульцева С. Н. Анатомические и гемодинамические предпосылки развития окклюзий вен сетчатки // *Офтальмолог. ведомости*. 2011. Т. IV. № 4. С. 70–76.
18. Тульцева С. Н. Роль гипофибринолиза в развитии тромбоза вен сетчатки // *Региональное кровообращение и микроциркуляция*. 2009. № 2 (30). С. 4–10.
19. Тульцева С. Н. Эндотелиальные регуляторы фибринолиза у больных с тромбозом вен сетчатки // *Офтальмолог. ведомости*. СПб., 2009. Т. II. № 1. С. 4–11.
20. Тульцева С. Н., Астахов Ю. С. Окклюзии вен сетчатки (этиология, патогенез, клиника, диагностика, лечение). СПб.: Н-Л, 2010. 125 с.
21. Brancato R., Lumbroso B. Guide to Optical Coherence Tomography interpretation. Roma: I. N. C. Innovation-News-Communication, 2004.
22. Dimitrova G, Kato S. Colour Doppler imaging of retinal diseases // *Surv. Ophthalmol.* 2010. № 55. P. 193–214.
23. Doblhoff-Dier V., Schmetterer L. et al. Measurement of the total retinal blood flow using dual beam Fourier-domain Doppler optical coherence tomography with orthogonal detection planes. // *Biomed. Opt. Express*. 2014. № 5 (2). P. 630–642.
24. Friedman E., Krupsky S., Lane A. M. et al. Ocular blood flow velocity in age-related macular degeneration // *Ophthalmology*. 1995. № 102. P. 640–646.
25. Friedman E. The pathogenesis of age-related macular degeneration // *Am. J. Ophthalmol.* 2008. № 146, P. 348–349.
26. Goldberg M. F., Dhaliwal R. S., Olk R. J. Indocyanine green angiography patterns of zones of relative decreased choroidal blood flow in patients with exudative age-related macular degeneration.
27. Grieshaber M. C., Flammer J. Blood flow in glaucoma // *Curr. Opin. Ophthalmol.* 2005. № 16. P. 79–83.
28. Hayreh S. S., Joos K. M., Podhajsky P. A., Long C. R. Systemic diseases associated with nonarteritic anterior ischemic optic neuropathy // *Am. J. Ophthalmol.* 1994. № 118 (118). P. 766–780.
29. Hayreh S. S. Prevalent misconceptions about acute retinal vascular occlusive disorders // *ProgRetin. Eye Res.* 2005. № 24 (4). P. 493–519.
30. Huang D., Konduru R., Zhang X., Tan O. et al. Relationship among Visual Field, Blood Flow and Neural Structure Measurements in Glaucoma // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012. № 53 (6), P. 3020–3026.
31. Kaiser H. J., Flammer J., Hendrickson Ph. Ocular blood flow. Basel, Karger, 1996. 226 p.
32. Kim D. Y., Fingler J., Zawadzki R. J. et al. Noninvasive imaging of the foveal avascular zone with high-speed, phase-variance optical coherence tomography // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012. № 53. P. 85–92.
33. Kiseleva T. N., Adzhemian N. A., Ezhov M. V., Ilina N. V. Changes of ocular blood flow in patients with subclinical atherosclerosis // *Journal Atherosclerosis*. 2015. July. Is. 1.
34. Kiseleva T. N., Ezhov M. V., Tankovskiy V. E. et al.

ОБЗОРЫ

Ocular blood flow and retinal circulation in patients with subclinical atherosclerosis // AbstractBook SOE. 2015. P. 202.

35. Klein R., Klein B. E., Tomany S. C. et al. The relationship of retinal microvascular characteristics to age – related eye disease: The Beaver Dam Eye Study // Am. J. Ophthalmol. 2004. № 137. P. 435–444.

36. Jampel H. Imaging the optic Nerve and posterior pole in glaucoma // Ophthalmology. 2014. № 121 (11), P. 2079–2080. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.07.011.

37. Lawrence P. F., Oderich G. S. Ophthalmologic findings as predictors of carotid artery disease // Vase. Endovascular. Surg. 2002. № 36 (6), P. 415–424.

38. Lieb W. E Color Doppler ultrasonography of the eye and orbit // Curr. Opin. Ophthalmol. 1993. Vol. 4. P. 68–75.

39. Lumbroso B., Savastano C. M., Rispoli M. In Vivo Characterization of Retinal Vascularization Morphology Using Optical Coherence Tomography Angiography // Investigative Ophthalmology & Visual Science. 2015. № 56(7).

40. Lumbroso B., Rispoli M. Оптическая когерентная томография сетчатки. Метод анализа и интерпретации / пер. с англ. М.: Анпель, 2012. 83 с.

41. Miura M, Makita S, Iwasaki T, Yasuno Y. Three-dimensional visualization of ocular vascular pathology by optical coherence angiography in vivo // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011, № 52. P. 2689–2695.

42. Mori S., Hangai M., Sakamoto A. et al. Spectral-domain optical coherence tomography measurement of macular volume for diagnosing glaucoma // J. Glaucoma. 2010. № 19. P. 528–534.

43. Mrejen S., Sarraf D., Mukkamala S. K., Freund K. B. Multimodal imaging of pigment epithelial detachment // Retina. 2013. № 33. P. 1735–1762.

44. Riva C. E., Grunwald J. E., Sinclair S. H. Laser Doppler Velocimetry study of the effect of pure oxygen breathing on retinal blood flow // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1983. № 24 (1). P. 47–51.

45. Sharma N. C., Bangiya D. Comparative study of ocular blood flow parameters by Colour Doppler imaging in healthy and glaucomatous eye // Head and neck. 2006. № 16. P. 679–82.

46. Wang Y., Bower B. A., Izatt J. A. et al. Retinal blood flow measurement by circumpapillary Fourier domain Doppler optical coherence tomography // J. Biomed. Opt. 2008. № 13 (6).

47. Wang Y., Fawzi A. A., Varma R. et al. Pilot study of optical coherence tomography measurement of retinal blood flow in retinal and optic nerve diseases // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011. № 52. P. 840–845.

48. Watzke R. C., Klein M. L., Hiner C. J. et al. A comparison of stereoscopic fluorescein angiography with indocyanine green videoangiography in age-related macular degeneration // Ophthalmology. 2000. № 107. P. 1601–1606.

49. Wong T. Y., Larsen E. M., Klein R. et al. Cardiovascular risk factor for retinal vein occlusion and arterial emboli. The atherosclerosis risk in communities & Cardiovascular Health Studies // Ophthalmology. 2005. Vol. 112. P. 540–547.

UDK 616.132.2–089:612.115.12

Kiseleva T. N., Adzhemian N. A.

Ocular blood flow assessment in vascular pathology of the eye

*The Helmholtz Moscow Research Institute of Eye Diseases
105062, Sadovaya-Chernogryazskaya 14/19, Moscow, Russia
e-mail: narine99@mail.ru*

Abstract

The review discusses some of the most common methods of ocular microcirculation assessment in vascular lesions of the eye: color and power Doppler imaging, laser Doppler flowmetry, fluorescent and indocyanine green angiography, digital retinal photographs and measurement of retinal vascular caliber, pulsative ocular blood flow analyzer, OCT-angiography. These methods are used in diagnostic of impairment of blood flow in vessels of optic nerve and retina, which also are full informative in early diagnostic of vascular pathology of eye.

Keywords: ocular blood flow, measurement of retinal vascular caliber, fluorescent angiography, OCT-angiography.

References

1. Adzhemjan N.A. Kompleksnoe issledovanie gemodinamiki glaza u pacientov s subklinicheskim aterosklerozom [Complex research of haemodynamics of an eye at patients with subclinical atherosclerosis] // Medicinskaja vizualizacija [Medical visualization]. 2015. N3. P.43–48. [In Russian].

2. Adzhemjan N. A., Kiselyova T.N., Ezhov M. V., Tankovsky V. E., Ilyin N.V. Retinal'nyj i orbital'nyj krovotok u pacientov s subklinicheskim aterosklerozom [Retinal and an orbital blood-flow at patients with subclinical atherosclerosis] // Materialy IV Mezhdunarodnogo medicinskogo nauchno-

prakticheskogo Forum «Angiologija: innovacionnye tehnologii v diagnostike i lechenii zabolevanij sosudov i serdca. Intervencionnaja kardiologija» [Materials IV of the International medical scientific and practical Forum «Angiology: innovative technologies in diagnostics and treatment of heart and vessel diseases. Intervention cardiology»]. – Chelyabinsk. 2015. P.51–52. [In Russian].

3. Astakhov Yu.S., Dzhaliashvili O. A. Sovremennye napravlenija v izuchenii gemodinamiki glaza pri glaukome [The modern directions in studying of haemodynamics of an eye at glaucoma] // Oftal'mologicheskij zhurnal

[Ophthalmologic journal]. 1990. N3. P.179–183. [In Russian].

4. Astakhov Yu.S., Petrishchev N. N., Tultseva S.N., Varganova of T.S. Trombofilii v patogeneze tromboza retinal'nyh ven [Thrombophilia in pathogenesis of thrombosis of the retinal veins] // Vestnik oftal'mologii [Ophthalmology bulletin]. Moscow. 2008. V.124. N3. P. 56–58. [In Russian].

5. Kiselyova T.N. Glaznoj ishemicheskij sindrom (klinika, diagnostika, lechenie) [Eye ischemic syndrome (clinic, diagnostics, treatment)]: Diss. . dokt. med nauk [Doctoral Dissertation]. Moscow. 2001. 162 p. [In Russian].

6. Kiselyova T.N. Cvetovoe dopplerovskoe kartirovanie v oftal'mologii [Color Doppler mapping in ophthalmology] // Vestnik oftal'mologii [Ophthalmology bulletin]. 2001. N6. P.51–53. [In Russian].

7. Kiselyova T.N. Ul'trazvukovye metody issledovaniya krovotoka v diagnostike ishemicheskikh porazhenij glaza [Ultrasonic methods of research of a blood-flow in diagnostics of ischemic damages of an eye] // Vestnik oftal'mologii [Ophthalmology bulletin]. 2004. N4. P. 3–5. [In Russian].

8. Kiselyova T.N., Adzhemyan N. A., Ezhov M. V., Ilyina N. V. Izmenenie gemodinamiki glaza u pacientov s arterial'noj gipertoniej I-II stepeni [Change of haemodynamics of an eye at patients with an arterial hypertension of the I-II degree] // Sbornik tezisev dokladov «X S#ezd oftal'mologov Rossii» [«X Congress of russian ophthalmologists» Theses collection]. – Moscow. 2015. [In Russian].

9. Kiselyova T.N., Ezhov M.V., Adzhemyan N.A. Narushenie retinal'noj cirkuljacii pri arterial'noj gipertonii [Violation of retinal circulation at an arterial hypertension] // «Farmateka». 2014. N20(293). P.14–18. [In Russian].

10. Kiselyova T.N., Koshevaya O.P., Polunin G. S. Korrekciya narushenij gemodinamiki pri okkluzii retinal'nyh ven. [Correction of haemodynamics disorders at occlusion of retinal veins] // Refrakcionnaja hirurgija i oftal'mologija [Refraction surgery and ophthalmology]. 2007. V.7. N4. P.36–39. [In Russian].

11. Kiselyova T.N., Lagutin Yu.M., Kravchuk E.A., Gavrilenko A.V. Osobennosti glaznogo krovotoka i sostojaniya brahiocefal'nyh arterij u bol'nyh s nejekssudativnoj vozrastnoj makuljarnoj degeneraciej [Features of an eye blood-flow and a state the brachiocephalic arteries at patients with a nonexudative age-related macular degeneration] // Vestnik oftal'mologii [Ophthalmology bulletin]. 2006.N5. P.12–14. [In Russian].

12. Kiselyova T.N., Tarasova L.N., Fokin A.A. Glaznoj ishemicheskij sindrom. [Eye ischemic syndrome]. — Moscow: Medicine. 2003. 173 p. [In Russian].

13. Kiselyova T.N., Tarutta E.P., Tarasova N. A. Issledovanie pokazatelej gemodinamiki v sosudah glaza na fone kompleksnogo funkcional'nogo lechenija blizorukosti [Research of haemo dynamics indicators in eye vessels against complex functional treatment of short-sightedness] // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija [Regional hemodynamics and microcirculation]. 2013. V.12. N4(48). P.20–23. [In Russian].

14. Kuryшева N. I., Kiselyova T.N., Irtegov E.Yu. Sravnitel'naja harakteristika pokazatelej glaznogo krovotoka pri glaukome normal'nogo davlenija i pervichnoj glaukome s povyshennym oftal'motonusom [The comparative characteristic of indicators of an eye blood-flow at glaucoma of normal pressure and primary glaucoma with raised the ophthalmic tone] // Sbornik nauchnyh trudov XI Vserossijskoj shkoly oftal'mologa. [Scientific works collection of XI All-Russian school of the ophthalmologist]. Moscow. 2012. P. 89–92. [In Russian].

15. Sokolov V.O. Znachenie issledovaniya gemodinamiki glaza i osnovnyh zritel'nyh funkcij v diagnostike narushenij prohodimosti brahiocefal'nyh arterij [Value of haemodynamics

research of an eye and the main visual functions in diagnostics of pass ability of brachiocephalic arteries disorders] // Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmologic vedomosti]. 2010. V.3. N3. P. 63–70. [In Russian].

16. Tankovsky V.E. Trombozy ven setchatki [Retinal vein thromboses]. – Moscow: Medicine. 2000. – 145 p. [In Russian].

17. Tultseva S.N. Anatomicheskie i gemodinamicheskie predposylki razvitiya okkluzij ven setchatki [Anatomic and haemo dynamic prerequisites of occlusions development in retinal veins] // Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmologic vedomosti]. 2011. V.IV. N4. P.70–76. [In Russian].

18. Tultseva S.N. Rol' gipofibrinoliza v razvitii tromboza ven setchatki [The role of hypofibrinolysis in development of retinal vein thrombosis] // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija [Regional hemodynamics and microcirculation]. 2009. N2 (30). P.4–10. [In Russian].

19. Tultseva of S. N. Jendotelial'nye reguljatoryfibrinoliza u bol'nyh s trombozom ven setchatki [Endothelial regulators of fibrinolysis at patients with a retinal vein thrombosis] // Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmologic vedomosti]. – Saint-Petersburg. 2009. V. II. N1. P.4–11. [In Russian].

20. Tultseva S.N., Astakhov Yu.S. Okkluzii ven setchatki (jetiologija, patogenez, klinika, diagnostika, lechenie) [Occlusions of retinal veins (etiology, pathogenesis, clinic, diagnostics, treatment)]. Saint-Petersburg. 2010. – 125 p. [In Russian].

21. Brancato R., Lumbroso B. Guide to Optical Coherence Tomography interpretation // Roma : I.N.C. Innovation-News-Communication. 2004.

22. Dimitrova G., Kato S. Colour Doppler imaging of retinal diseases // Surv Ophthalmol. 2010. V.55. P.193–214.

23. Doblhoff-Dier V, Schmetterer L. et al. Measurement of the total retinal blood flow using dual beam Fourier-domain Doppler optical coherence tomography with orthogonal detection planes // Biomed Opt Express. 2014. N 5(2). P.630–642.

24. Friedman E., Krupsky S., Lane A.M. et al. Ocular blood flow velocity in age-related macular degeneration // Ophthalmology. 1995. V.102. P.640–646.

25. Friedman E. The pathogenesis of age-related macular degeneration // Am J Ophthalmol 2008. V.146. P.348–349.

26. Goldberg M.F., Dhaliwal R.S., Olk R.J. Indocyanine green angiography patterns of zones of relative decreased choroidal blood flow in patients with exudative age-related macular degeneration // Ophthalmic Surg Lasers. 1998. V.29. N5. P.385–390.

27. Grieshaber M.C., Flammer J. Blood flow in glaucoma // Curr Opin Ophthalmol 2005. V.16. P. 79–83.

28. Hayreh S.S., Joos K.M., Podhajsky P.A., Long C.R. Systemic diseases associated with nonarteritic anterior ischemic optic neuropathy // Am J Ophthalmol. 1994. V.115 (118). P. 766–780.

29. Hayreh S.S. Prevalent misconceptions about acute retinal vascular occlusive disorders // Prog Retin Eye Res 2005. V. 24(4). P.493–519.

30. Huang D., Konduru R., Zhang X., Tan O. et al. Relationship among Visual Field, Blood Flow and Neural Structure Measurements in Glaucoma // Invest Ophthalmol Vis Sci 2012. V. 53 (6). P. 3020–3026.

31. Kaiser H. J., Flammer J., Hendrickson Ph. Ocular blood flow. Basel. Karger. 1996.- 226 p.

32. Kim D.Y., Fingler J., Zawadzki R.J. et al. Noninvasive imaging of the foveal avascular zone with high-speed, phase-variance optical coherence tomography // Invest Ophthalmol Vis Sci - 2012. V.53. P. 85–92.

33. Kiseleva T.N., Adzhemyan N.A., Ezhov M.V., Ilina N.V. Changes of ocular blood flow in patients with subclinical

ОБЗОРЫ

atherosclerosis // *Journal Atherosclerosis* – July Issue 1 2015.

34. Kiseleva T.N., Ezhov M.V., Tankovskiy V.E., Ilina N.V., Adzhemian N.A. Ocular blood flow and retinal circulation in patients with subclinical atherosclerosis // *AbstractBook SOE.-2015*. P.202.

35. Klein R., Klein B.E., Tomany S.C. et al. The relationship of retinal microvascular characteristics to age – related eye disease: The Beaver Dam Eye Study // *Am J Ophthalmol* 2004. V.137. P.435–444.

36. Jampel H. Imaging the optic Nerve and posterior pole in glaucoma // *Ophthalmology* 2014. V. 121(11). - P. 2079–2080. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.07.011.

37. Lawrence P.F., Oderich G.S. Ophthalmologic findings as predictors of carotid artery disease // *Vase Endovascular Surg* 2002. V. 36(6). P.415–424.

38. Lieb W.E Color Doppler ultrasonography of the eye and orbit // *Curr Opin Ophthalmol*. 1993. V.4. P.68-75.

39. Lumbroso B., Savastano C. M. and Rispoli M. In Vivo Characterization of Retinal Vascularization Morphology Using Optical Coherence Tomography Angiography // *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2015. V. 56(7).

40. Lumbroso B., Rosen R., Rispoli M. OCT Spectral. – Cap. 1. – Editore I.N.C., 2008.

41. Miura M., Makita S., Iwasaki T., Yasuno Y. Three-dimensional visualization of ocular vascular pathology by optical coherence angiography in vivo // *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011. V. 52. P. 2689–2695.

42. Mori S., Hangai M., Sakamoto A. et al. Spectral-domain optical coherence tomography measurement of

macular volume for diagnosing glaucoma. *J Glaucoma* 2010. V.19. P. 528–534.

43. Mrejen S., Sarraf D., Mukkamala S.K., Freund K.B. Multimodal imaging of pigment epithelial detachment // *Retina* 2013. V.33. P.1735–1762.

44. Riva C.E., Grunwald J.E., Sinclair S.H. Laser Doppler Velocimetry study of the effect of pure oxygen breathing on retinal blood flow // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1983. V. 24(1). P. 47–51.

45. Sharma N.C., Bangiya D. Comparative study of ocular blood flow parameters by Colour Doppler imaging in healthy and glaucomatous eye // *Head and neck* 2006. V.16. P. 679–82.

46. Wang Y., Bower B.A., Izatt J.A., Tan O., Huang D. Retinal blood flow measurement by circumpapillary Fourier domain Doppler optical coherence tomography // *J Biomed Opt*. 2008. 13(6). P.064003.

47. Wang Y., Fawzi A.A., Varma R., et al. Pilot study of optical coherence tomography measurement of retinal blood flow in retinal and optic nerve diseases // *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011. V.52. P. 840–845.

48. Watzke R.C., Klein M.L., Hiner C.J. et al. A comparison of stereoscopic fluorescein angiography with indocyanine green videoangiography in age-related macular degeneration // *Ophthalmology*. 2000. V.107. P.1601–1606.

49. Wong T.Y., Larsen E.M., Klein R. et al. Cardiovascular risk factor for retinal vein occlusion and arterial emboli. The atherosclerotic risk in communities & Cardiovascular Health Studies // *Ophthalmology* 2005. V.112. P. 540–547.