

DOI 10.35264/1996-2274-2019-1-215-220

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ВИДЕОМИКРОСКОП ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Б. Назаренко, ген. директор ООО «Центр терапевтической офтальмологии»
канд. мед. наук, gbn1@narod.ru
Т.С. Хейло, глав. врач ООО «Центр терапевтической офтальмологии»,
врач высш. кат., cto96@mail.ru

Разработан метод диагностики и мониторинга состояния микроциркуляции крови, включающий применение специально разработанного и зарегистрированного для клинического использования прибора «Капилляроскоп ОКО» для неинвазивной бесконтактной видеорегистрации под большим увеличением тока крови в микрососудах бульбарной конъюнктивы глаза человека с применением специального программного обеспечения, позволяющего: измерять скорость движения эритроцитов в отдельных артериолах, венулах и в магистральных предпочтительных каналах; фиксировать в микрососудах возможное наличие сладж-синдрома, стаза эритроцитарного движения; оценивать количество и форму капилляров, наличие артериолярно-венулярных анастомозов, идентичность кровотока в микрососудах конъюнктивы на правом и левом глазах; измерять диаметры артериол и венул. Метод направлен на клиническое исследование параметров микроциркуляции конъюнктивы в спокойном состоянии, что позволяет экстраполировать фиксируемые параметры внутрисосудистой (реологической) части системы микроциркуляции на состояние микрогемодинамики всего организма, которая отражает состояние общего гомеостаза. Метод может быть применен для контроля и мониторинга общего состояния организма человека или пациента при любых исследованиях в экспериментальных, спортивных или лечебных целях, поскольку определяемые цифровые параметры микроциркуляции позволяют оценивать общее состояние человека, реакцию на физические нагрузки и прогнозировать развитие любых общесоматических или локальных дегенеративных изменений в организме пациента.

Ключевые слова: микроциркуляция, бульбарная конъюнктура, капилляроскопия, сладж-синдром, скорость эритроцитов, артериола, венула, офтальмология, терапия.

DIAGNOSTIC VIDEO MICROSCOPE FOR ESTIMATING THE STATE OF MICROCIRCULATION OF THE BLOOD USING COMPUTER TECHNOLOGIES

G.B. Nazarenko, Director, Therapeutic Ophthalmology Center LLC, Doctor of Medicine,
gbn1@narod.ru
T.S. Heilo, Chief Physician, Therapeutic Ophthalmology Center LLC, Highest category
Physician, cto96@mail.ru

A method for diagnosing and monitoring the blood microcirculation state has been developed, including the use of the specially developed and registered for clinical use of the device OKO Capillaroscope for non-invasive non-contact video recording under a large increase in blood flow in the microvessels of the bulbar conjunctiva of the human eye using special software that allows: to measure the speed of red blood cells in individual arterioles, venules and in the main preferred channels; to fix in the microvessels the possible presence of sludge syndrome, stasis of the erythrocyte

movement; to evaluate the number and shape of capillaries, the presence of arteriolar-venular anastomoses, the identity of blood flow in the microvessels of the conjunctiva in the right and left eyes; measure arteriole diameters and venules. The method is aimed at a clinical study of the parameters of the microcirculation of the conjunctiva at rest, which allows extrapolating the recorded parameters of the intravascular (rheological) part of the microcirculation system to the state of the microhemodynamics of the whole organism, which reflects the state of general homeostasis. The method can be applied to control and monitor the general condition of a person or patient in any research in experimental, sports or therapeutic purposes, since the determined digital parameters of microcirculation allow to assess the general condition of a person, the response to physical activity and predict the development of any general or local degenerative changes in the patient's body.

Keywords: microcirculation, bulbar conjunctiva, capillaroscopy, sludge syndrome, erythrocyte movement speed, arteriole, venule, ophthalmology, therapy.

Создан новый диагностический прибор и разработана технология неинвазивной оценки одного из главных компонентов микрогемодикуляции – внутрисосудистого реологического фактора движения эритроцитов. Указанный метод диагностики является неинвазивным и противопоказаний для использования не имеет. В качестве объекта исследования в данной работе используется бульбарная (покрывающая видимую часть глазного яблока) конъюнктивa (защитная слизистая оболочка глаза). Указанная ткань имеет видимые поверхностные сосуды различного диаметра, движение крови по которым в состоянии покоя человека и при отсутствии воспалительной реакции (интактная конъюнктивa) коррелирует с параметрами движения крови по всем микрососудам в организме человека. Исследуемая часть глаза находится под защитой век, сосуды конъюнктивы являются в основном веточками внутренней сонной артерии, которая кровоснабжает головной мозг, что в совокупности позволяет с высокой степенью корреляции судить о микроциркуляции без учета воздействия на нее факторов внешней среды.

Транспортная функция сердечно-сосудистой системы реализуется в терминальном микроциркуляторном русле, где происходит трансапиллярный обмен, создающий необходимый для жизни тканевой гомеостаз [1]. Именно в капиллярах происходит обмен кислорода и питательных веществ на продукты жизнедеятельности клеток. Нарушение капиллярного кровотока приводит к кислородному голоданию тканей, развитию гипоксии и нарушению трофического и пластического обеспечения клеток.

Центральным звеном в развитии микроциркуляторных нарушений в любом органе является расстройство капиллярного кровотока, обычно начинающееся со снижения его интенсивности и заканчивающееся развитием капиллярного стаза, артериоло-венулярным шунтированием, что приводит к дегенеративным необратимым изменениям [2]. Так, например, ткань центральной нервной системы, в том числе сетчатка и зрительный нерв, содержит все структурные единицы микрогемодикуляции, дополненные системой астроцитарно-перикитарного внутреннего и наружного гематоретинального барьера, пропускающего к нервным клеткам все необходимые для их жизнедеятельности низкомолекулярные субстанции. Развивающиеся дегенеративные (инвалидирующие) заболевания сетчатки и зрительного нерва по причине местного дефицита питательных веществ возникают в значительной мере вследствие общих нарушений транспортной функции крови, проходящей по капиллярам как самой сетчатки, так и всех других тканей глаза и всего зрительного анализатора, инициированные общими патологическими процессами, происходящими в организме человека [3].

Целенаправленное восстановление микроциркуляции, нормализация трансапиллярного обмена в значительной мере позволяют решить проблемы практической медицины, и прежде всего вопросы профилактики и терапии нарушений регионального, в частности мозго-

вого, кровообращения [1]. Изучение и контроль закономерностей циркуляции крови по капиллярам, поведения клеток крови, ультраструктурных особенностей микрососудов в норме и при патологии представляется актуальной задачей практического здравоохранения.

Материалы и методы

Диагностика основана на клиническом применении аппаратно-программного комплекса «Капилляроскоп ОКО» (Патент № 132699 от 22.04.2013), представляющий собой офтальмологический видеомикроскоп, состоящий из регистрирующего устройства, системы фокусировки и позиционирования, системы фиксации головы пациента и системы освещения (рис. 1).

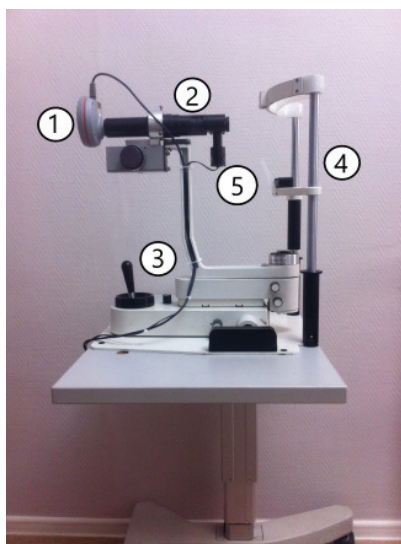


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс «Капилляроскоп ОКО»

Регистрирующее устройство состоит из приемника видеоизображений высокого разрешения 1, которым является цифровая скоростная монохромная видеокамера со скоростью съемки 100 кадров в секунду, и из оптической системы 2, позволяющей увеличивать в 200 раз фиксируемое изображение, которое передается на персональный компьютер для захвата и последующей обработки исследователем. Система фокусировки и позиционирования 3 предусматривает фокусировку захватываемого изображения посредством перемещения оптической системы 2 по трем осям координат в передне-заднем, вертикальном и горизонтальном направлениях, а также по углу в горизонтальной плоскости. Входящий в аппаратно-программный комплекс персональный компьютер снабжен программным обеспечением, позволяющим регистрировать видеоизображения капилляров и проводить последующую оценку параметров их строения и параметров движения эритроцитарных компонентов по микрососудам. Система фиксации головы пациента 4 позволяет исключить движения головы во время проведения исследования, которое не превышает 10–15 секунд для каждого глаза. Система освещения 5 исследуемой области состоит из двух светодиодных источников монохромного зеленого света (525 нм) для увеличения контраста получаемого изображения, на анализе которого основана программа интерпретации захваченной видеоинформации.

При получении оператором-исследователем сфокусированного изображения с видимым движением эритроцитарных цепочек по исследуемым микрососудам активируется программа записи фрагмента изображения в память компьютера. Все дальнейшие действия осуще-

ствляются без участия исследуемого пациента. Записанный фрагмент используется для обработки и вычисления параметров микроциркуляции и строения капилляров. Для этого полученное видеоизображение программно стабилизируется и представляется в интерфейсе, удобном для проведения вычислений. При этом определяются следующие параметры:

- 1) линейная скорость кровотока в артериолах и венах в мкм/с;
- 2) стаз движения эритроцитов в секунду;
- 3) наличие сладжей эритроцитов;
- 4) величина артериоло-венулярного соотношения;
- 5) наличие симптома «обкрадывания» за счет образования артериоло-венулярного шунтирования и запускания капилляров;
- 6) накопление метаболитов в перивазальной зоне с последующими морфофункциональными изменениями.

Результаты

Для определения причин нарушения микроциркуляции требуется проведение комплексного обследования врачами различных специальностей, которые выявляют те или иные нарушения в работе органов и систем организма, интегрально влияющие, в том числе, и на реологические параметры движения эритроцитов по микрососудам всего организма. В целях нормализации гомеостаза врачи-специалисты разрабатывают для пациента план индивидуальной программы профилактики или лечения, основной целью которого является восстановление или улучшение микроциркуляции (рис. 2). Этиология нарушений микроциркуляции всегда комбинированная, многофакторная. Необходимо учитывать историю развития заболевания в каждом конкретном случае.

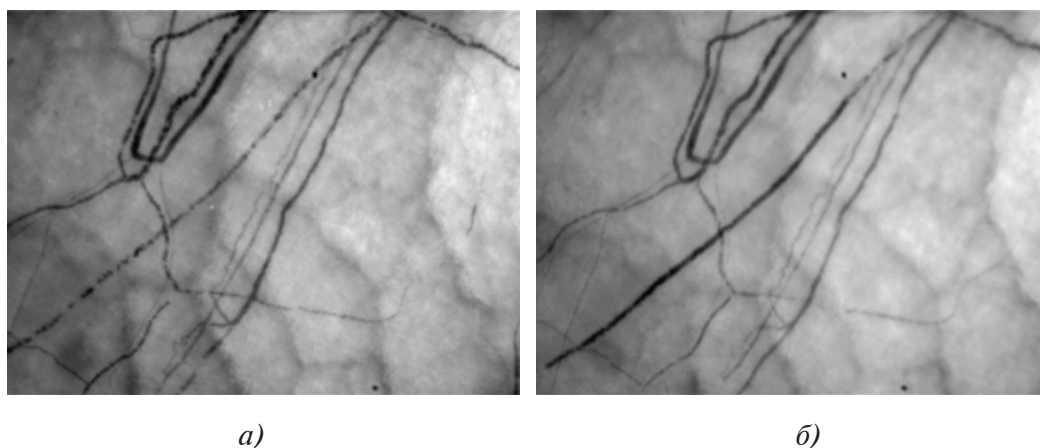


Рис. 2. Фрагменты изображения: а – до лечения; б – после лечения

Так, были обследованы 50 пациентов (средний возраст $41,1 \pm 8,7$ лет) с диагнозом «гипертоническая болезнь» с сопутствующими метаболическими нарушениями (дислипидемия, ожирение, нарушение толерантности к глюкозе) и 32 практически здоровых добровольцев той же возрастной группы. Средняя скорость кровотока в капиллярах бульбарной конъюнктивы в группе здоровых добровольцев составила 550 ± 50 мкм/с. В группе пациентов с гипертонической болезнью и с сопутствующими метаболическими нарушениями скорость кровотока составила 265 ± 123 мкм/с ($p < 0,05$). Кроме того, у пациентов этой группы по сравнению со здоровыми добровольцами в просвете капилляров выявлено наличие сладжей и стаза эритроцитов, что свидетельствует о нарушении реологии крови в капиллярах, тогда

как данные их коагулограмм были в пределах нормальных показателей. Через 6 недель терапии ингибиторами АПФ, статинами, метформином, антиагрегантами скорость капиллярного кровотока достоверно выросла до $442,7 \pm 116,8$ мкм/с. В результате проведенного лечения пациенты отмечали существенное улучшение качества жизни, коррелирующее с изменениями скорости кровотока по микрососудам бульбарной конъюнктивы.

В другом исследовании принимали участие 20 человек с повышенной массой тела, желающие нормализовать свой вес. Группа 1: семь человек на фоне диетотерапии, включающей ограничение калорийности пищи (снижение уровня углеводов и жиров в ней, повышение содержания белка и полиненасыщенных жирных кислот), получали метформин в дозировке 1000 мг утром и 500 мг днем и трайкор (145 мг 1 раз в день). Группа 2: семь человек получали аналогичную диетотерапию в сочетании только с метформином в аналогичной дозировке. Группа 3: шесть человек использовали только диетотерапию. Диагностическое исследование пациентов во всех группах предусматривало анамнестический анализ, физические методы исследования (индекс массы тела, окружность талии и бедер) и лабораторные исследования в динамике. Оценивалась скорость кровотока в артериолах и венах бульбарной конъюнктивы до и после курса лечения.

Условия рандомизации предусматривали на начальном этапе исследования средних значений исследуемых показателей в целом по группе (20 человек). Результаты капилляроскопии сопоставлялись с клиническими (ожирение, артериальная гипертензия) и лабораторными (гликемия, дислипидемия) изменениями. Отмечалось снижение скорости кровотока в артериолах до 300 мкм/с, а в венах — до 200 мкм/с, присутствовали стазы и сладжи.

Обследование спустя 3 месяца от начала терапии в группах 1 и 2 показало достоверное увеличение скорости кровотока в артериолах до 600 мкм/с и в венах до 400 мкм/с, а в группе 3 — до 400 мкм/с в артериолах и до 300 мкм/с в венах. Во всех группах наблюдались положительные изменения в биохимическом анализе крови — улучшение показателей липидного профиля. В группах 1 и 2 снижение индекса массы тела было до 15%, а в группе 3 — до 5%.

В другом исследовании проводился анализ параметров микроциркуляции у пациентов с сахарным диабетом до и после курсового лечения в сравнении с контрольной группой пациентов той же возрастной группы без наличия признаков сахарного диабета. Обследовано 140 пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типа. Из них 72 женщины и 68 мужчин (средний возраст $45,1 \pm 9,7$ лет), причем у 56 пациентов была выявлена диабетическая ретинопатия. Помимо рутинных исследований определяли параметры микроциркуляции до и после лечения, заключавшегося в медикаментозной нормализации сахаров крови, диете и в приеме антиоксиданта и ангиопротектора сосудов головного мозга — танакана по 40 мг 3 раза в день в течение 1 месяца. В данной группе с сахарным диабетом до начала лечения выявлено снижение скорости капиллярного кровотока до $278,3 \pm 114$ мкм/с.

Параллельно была обследована контрольная группа пациентов в количестве 50 человек без сахарного диабета сопоставимой возрастной группы. Скорость кровотока в бульбарной конъюнктиве у них составила 550 ± 50 мкм/с. После проведения местного лечения пациентов с сахарным диабетом скорость капиллярного кровотока увеличилась до $572,7 \pm 116,8$ мкм/с. Эффект держался с постепенным снижением в течение 5 месяцев после окончания терапии.

Обсуждение и выводы

Разработанный метод и аппаратно-программный комплекс «Капилляроскоп ОКО» позволяют неинвазивно *in vivo* определять параметры микроциркуляции в сосудах бульбарной конъюнктивы, в состоянии покоя которой характеристики внутрисосудистого движения эритроцитарных цепочек будут аналогичны характеристикам такого же движения в микроциркуляторном отделе сердечно-сосудистой системы всего организма. Рассмотренный метод диагностики не имеет противопоказаний для использования и может быть применен врачами любых специальностей в целях объективизации состояния микроциркуляции, а следовательно, и гомеостаза всего организма.

Метод может быть применен для разных задач, так как основывается на определении параметров микроциркуляции, зависящих от реологического состояния крови, одинаковой во всех тканях и органах организма в один и тот же момент времени. Результаты исследования параметров кровообращения в капиллярах бульбарной конъюнктивы полностью коррелируют с общеклиническим состоянием пациентов во всех группах наблюдения, причем изменения в параметрах предшествуют наступлению клинического проявления болезни за 5–10 лет. Целенаправленное воздействие на реологические свойства крови, улучшающие состояние микроциркуляции, приводит к быстрому и стойкому излечению или стабилизации состояния организма в норме и при патологии.

Компьютерный «Капилляроскоп ОКО» может и должен применяться повсеместно в рутинных скрининговых обследованиях и диспансеризациях для прогнозирования развития заболеваний, контроля общеклинического и физического состояния человека, а также в целях более быстрого и эффективного лечения всех дисфункциональных, дистрофических и хронических заболеваний.

Список литературы

1. Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. М.: Медицина, 1975. 456 с.
2. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей. М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 496 с.
3. Егоров Е.А., Ставицкая Т.В., Тутаяева Е.С. Офтальмологические проявления общих заболеваний: руководство для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 592 с.

References

1. Chernukh A.M., Aleksandrov P.N., Alekseev O.V. (1975) *Mikrotsirkulyatsiya* [Microcirculation] *Meditsina* [Medicine]. Moscow. P. 456.
2. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. (2013) *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem. Kolebaniya, informatsiya, nelineynost'. Rukovodstvo dlya vrachey* [Functional diagnostics of the state of microcirculatory and tissue systems. Oscillations, information, nonlinearity. A guide for doctors] *Kn. dom «LIBROKOM»* [Books House «LIBROKOM»]. Moscow. P. 496.
3. Yegorov E.A., Stavitskaya T.V., Tutayeva E.S. (2009) *Oftal'mologicheskie proyavleniya obshchikh zabolevaniy: rukovodstvo dlya vrachey* [Ophthalmological manifestations of common diseases: a guide for doctors] *GEOTAR-Media* [GEOTAR-Media]. Moscow. P. 592.