

¹Кубарко А. И., ²Фираго В. А., ¹Анисимов А. А.

ОЦЕНКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЛАЗНЫХ СОСУДОВ

¹ Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск,

² Белорусский государственный университет, г. Минск

Результаты ряда исследований, проведенных за последние 10 лет, свидетельствуют о высокой ценности количественной оценки морфологических характеристик сосудов сетчатки и бульбарной конъюнктивы глаза не только для раннего выявления и объективизации изменений глазных сосудов, но и сосудов мозга, миокарда, почек [1–3]. Известно, что сосуды целостной сосудистой системы организма обычно реагируют на действие регуляторных и других факторов (например, чрезвычайных раздражителей, никотина, алкоголя) сходным образом [4]. При заболевании атеросклерозом, артериальной гипертензией, сахарным диабетом в патологические процессы вовлекаются сосуды различных органов и тканей организма [1]. Все большую известность приобретает выдвиг-

нутая в последние годы концепция патологии малых сосудов, в основе которой лежит представление о системном характере повреждения малых сосудов на доклинических стадиях таких заболеваний как артериальная гипертензия и сахарный диабет [5–8]. Выявление ранних изменений в сосудах при этих широко распространенных заболеваниях дает возможность своевременно применять более эффективные методы лечения и профилактики инсульта мозга, инфаркта миокарда, почечной недостаточности и развития слепоты.

Несмотря на высокую ценность методов измерения морфологических параметров сосудов глаза и их изменений, они не позволяют оценить кровоток как важнейший фактор, от которого зависит осуществление зрительных функций и само существование нейронов зрительной системы.

Очевидно, что разработка и создание методов одновременной количественной оценки морфометрических параметров сосудов и показателей гемодинамики могли бы существенно улучшить возможности проведения ранней диагностики и лечения сосудистых заболеваний.

Целью настоящего исследования было разработать и апробировать методы и программные средства цифровой фото- и видеорегистрации сосудов бульбарной конъюнктивы глаза для количественной оценки их морфометрических и гемодинамических параметров.

Для измерения морфометрических параметров сосудов бульбарной конъюнктивы глаза был создан оригинальный компьютерный комплекс, состоящий из двух персональных компьютеров, монохромной цифровой видеокамеры высокого разрешения Imrex Bobcat IGV-B1410M с объективом от микроскопа с фокусным расстоянием 40 мм и блока импульсной подсветки на основе светодиодной и оптоволоконной техники. Цифровая видеокамера имеет USB интерфейс, что позволяет управлять ее работой через соответствующее программное обеспечение. В составе установки имеется лазерное устройство для визуального наведения и фокусировки и устройство синхронизации импульсной подсветки с построением видеокадров цифровой камерой.

Для получения изображений эритроцитов и последующего расчета скорости кровотока использована методика измерения длины пути их перемещения в сосуде на основе учета скорости построения видеокадров цифровой камерой. Использование для импульсной подсветки светодиодных световых импульсов длительностью 2–3 мс позволило достигнуть оптического разрешения 2 мкм на пиксель цифрового изображения, смещения структурных элементов поверхности глаза и форменных элементов крови в сосудах не более 1 мкм во время видеосъемки при освещенности поверхности, близкой к ее уровням днем на открытой местности.

Для снижения влияния саккадических движений глаз на качество получаемого видеоизображения при сканировании сосудов испытуемых просили фиксировать взгляд во время видеозаписи на яркой точке, двигавшейся на экране монитора с установленной скоростью. Полученные видеоизображения сглаживались медианным фильтром с помощью специально созданной программы «Image stabilization», нормировались, усреднялись по нескольким десяткам кадров и записывались на жесткий диск компьютера. На рис. 1 представлено изоб-

ражение сети сосудов бульбарной конъюнктивы глаза, полученное после цифрового усреднения ряда видеок кадров.



Рис. 1. Изображение сети сосудов бульбарной конъюнктивы после цифрового усреднения по 25 кадрам видеозаписи (испытуемый 1SLikg IDW)

В дальнейшем, для измерения морфометрических параметров сосудов их изображение загружалось в программу обработки, из сосудистой сети выделялась определенная область или отдельный сосуд и рассчитывались его длина, извитость, средний, минимальный и максимальный диаметры.

Определение объемной скорости кровотока в разветвленной сети сосудов микроциркуляторного русла является сложной задачей, требующей измерения линейной скорости тока крови и внутреннего просвета сосудов сети. На данном этапе созданное программное обеспечение позволяет определять линейные скорости движения эритроцитов крови в поверхностных сосудах бульбарной конъюнктивы глаза. Измерение проводится с учетом затрат времени на построение одного видеок кадра, равного 43 мс при скорости видеозаписи 23 кадра/с, и расстояния, на которое смещается одиночный эритроцит за известный промежуток времени. Пример такого измерения представлен на рис. 2.

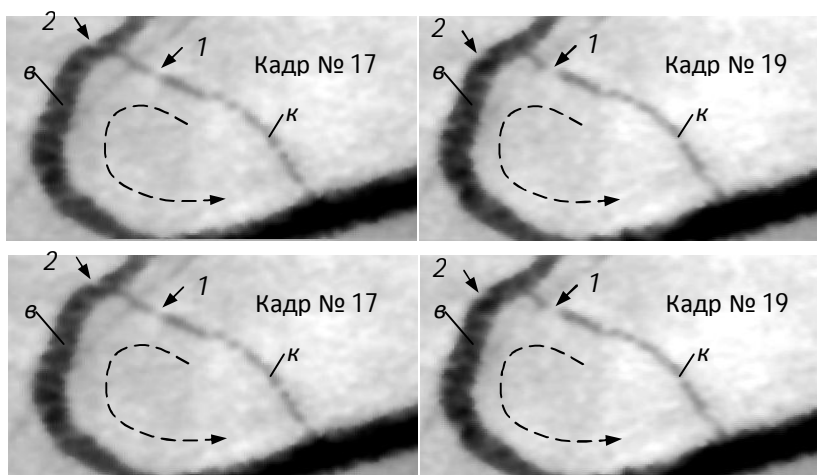


Рис. 2. Фрагменты изображения внутреннего просвета и форменных элементов крови в венуле (v) и в капилляре (к), полученные при подсветке светодиодом с зеленым цветом свечения в 17 и 19-м кадрах ($\Delta t = 86,134$ мс) видеозаписи (испытуемый 1PLekg_IDG)

Линейная скорость движения эритроцитов в капиллярах, рассчитанная по данным измерения длины их перемещения за время 86,134 мс (рис. 2), составила 0,2–0,23 мм/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Retinal* vascular image analysis as potential screening tool for cerebrovascular disease : a rationale based on homology between cerebral and retinal microvasculatures / N. Patton [et al.] // *J. Anat.* 2005. Vol. 206. P. 319–348.

2. *Cerebral* white matter lesion? Retinopathy and risk of clinical stroke : the atherosclerosis risk in communities study / T. V. Wong [et al.] // *JAMA.* 2002. Vol. 288. P. 67–74.

3. *Nagaoka, T.* Relationship between retinal blood flow and renal function in patients with type 2 diabetes and chronic kidney disease / T. Nagaoka, A. Yoshida // *Diabetes care.* 2013. Vol. 36. P. 957–961.

4. *Деревянко, И. А.* Микроциркуляторное русло миокарда на ранней стадии развития диабетической кардиомиопатии / И. А. Деревянко, С. А. Новаковская // *Новости медико-биологических наук.* 2026. Т. 13, № 1. С. 23–27.

5. *Thompson, C. S.* Living beyond our physiological means small vessel disease of the brain is an expression of a systemic failure in arteriolar function / C. S. Thompson, A. M. Hakim // *Stroke.* 2009. Vol. 40. P. e322–e330 .

6. *Состояние* сосудов и световой чувствительности у пациентов с артериальной гипертензией / А. И. Кубарко [и др.] // *Офтальмология. Восточная Европа.* 2014. № 4(23). С. 223–231.

7. *Иванов, К. П.* Современные медицинские проблемы микроциркуляции и гипоксического синдрома / К. П. Иванов // *Вестник РАМН.* 2014. № 1–2. С. 57–63.

8. *Retinal* microvasculature as a model to study the manifestations of hypertension / Y. C. Carol [et al.] // *Hypertension.* 2012. Vol. 60. P. 1094–1103.

¹*Kubarko A.,* ²*Firago V.,* ¹*Anisimov A.*

Evaluation of morphometric and hemodynamic parameters of oculus vessels

¹ *Belarusian State Medical University, Minsk,*

² *Belarusian State University, Minsk*

The methods of quantify evaluations of morphometric parameters and blood velocity in vessels of bulbar conjunctiva of human eye are presented.

Key words: eye vessels, allocation and processing of vessels network, blood velocity.