

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА СОСУДОВ БУЛЬБАРНОЙ КОНЬЮНКТИВЫ ГЛАЗА

В.А. Фираго¹, Д.А. Смунев¹, А.И. Кубарко²

Белорусский государственный университет, Минск
Белорусский государственный медицинский университет, Минск
E-mail: firago@bsu.by

Одна из актуальных задач современной медицинской диагностики – исследование поведения малых сосудов при различных патологиях и внешних воздействиях на организм человека, в том числе и сосудорасширяющих препаратов. Самыми доступными для непосредственного наблюдения являются сосуды бульбарной конъюнктивы глаза. Появились первые публикации, посвященные исследованию скорости кровотока и оксигенации гемоглобина в них [1–3]. Актуальной остается и проблема определения изменений внутреннего диаметра d_v сосудов, возникающих при воздействиях на сердечнососудистую систему.

Аналогичные задачи решают при определении диаметра сосудов сетчатки глаза по цветным цифровым изображениям дна глаза, получаемым с помощью фундус-камер. Обычно диаметр сосудов d_v сетчатки определяют по профилю сечения его изображения на полувысоте профиля. Достоверность такого подхода можно подтвердить при использовании конфокальной лазерной микроскопии. Однако наличие «рефлекса», т. е. отраженного обратно от вершины сосуда части излучения, которое подсвечивает дно глаза, затрудняет выработку однозначного критерия для определения d_v . Разброс глубины провала в центре профиля поперечного сечения изображения сосуда приводит к неопределенности определения его полувысоты.

При боковой подсветке склеры под небольшим углом к ее нормали «рефлекс» отсутствует [1], вследствие сильного рассеяния излучения тканями склеры. Профиль поперечного сечения изображения сосудов имеет вид перевернутого колокола, как показано на рис. 1, что позволяет использовать методику определения внутреннего диаметра видимых сосудов бульбарной конъюнктивы по площади этого колокола S_{ac} . Разделив S_{ac} на высоту h_{ac} можно получить эквивалентный диаметр внутреннего просвета d_{ve} , который для малых сосудов приблизительно пропорционален количеству эритроцитов, прошедших за время усреднения через рассматриваемый участок сосуда. Методика записи цифровых изображений бульбарной конъюнктивы, применяемая в [1], позволяет проводить усреднение изображений в течение нескольких десятков кадров и получать контрастные изображения малых сосудов.

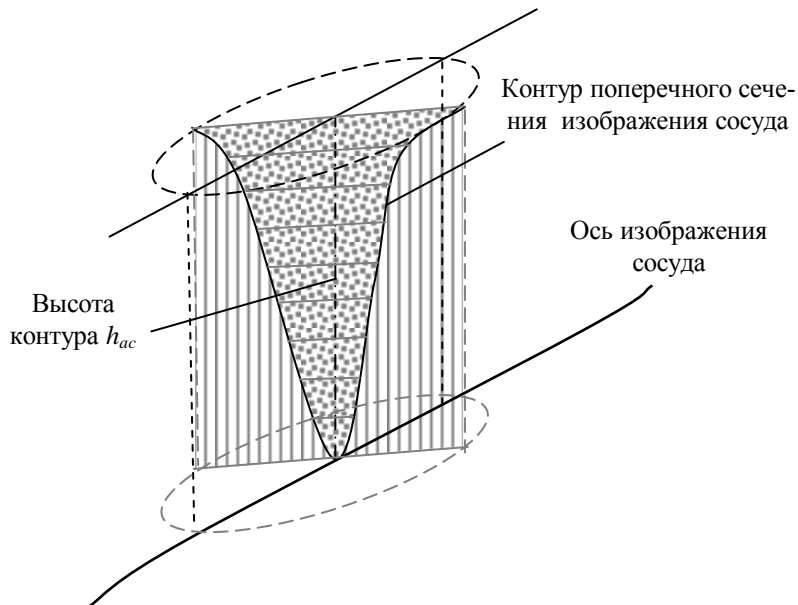


Рис. 1. Иллюстрация процесса определения площади поперечного сечения изображения сосуда

Если заранее проведена трассировка скелета сосудистого рисунка, т. е. определено положение осей изображения сосудов, появляется возможность применения кольцевых структур (рис. 1), позволяющих найти поперечное сечение профиля и вычислять S_{ac} , h_{ac} и d_{ve} . При создании алгоритма трассировки авторами использовались принципы анализа изображений, свойственные зрительной системе человека.

На рис. 2 представлен обработанный фрагмент изображения бульбарной конъюнктивы, показывающий градациями серого цвета профили изображения сосудов и пиксели, участвующие в определении d_{ve} . Белыми точками отмечены пиксели, которые не участвовали в процессе определения диаметра сосудов, поскольку при формировании в прямоугольной сетке окружностей с увеличивающимися радиусами R используются не все пиксели изображения.

Созданные алгоритмы позволяют формировать карту распределения эквивалентных диаметров внутреннего просвета видимых сосудов бульбарной конъюнктивы глаза. Для этого на их монохромное изображение накладывается найденный скелет сосудистого рисунка, раскрашенный палитрой с цветной шкалой значений эквивалентных диаметров d_{ve} .

Наиболее информативной характеристикой при анализе изменений внутреннего диаметра d_v сосудов бульбарной конъюнктивы является гистограмма распределения получаемых значений d_{ve} , пример которой для усредненного по 25 кадрам изображения участка склеры с площадью $2,16 \times 1,7 \text{ мм}^2$, приведен на рис. 3.

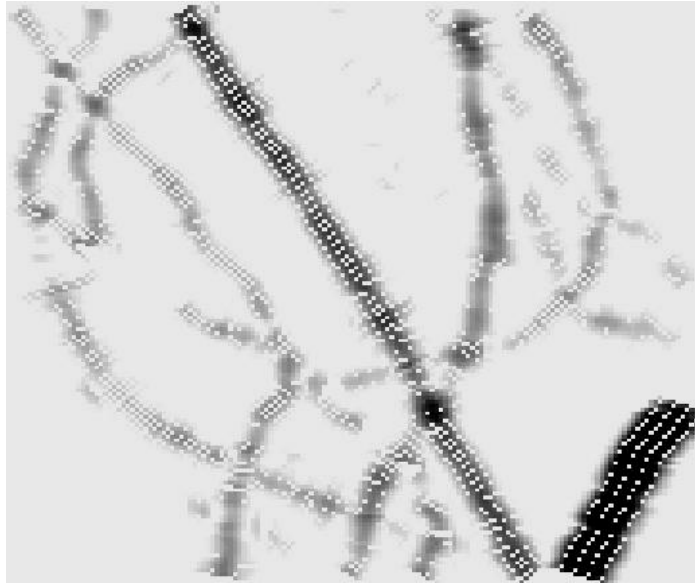


Рис. 2. Обработанный фрагмент изображения бульбарной конъюнктивы, демонстрирующий процесс определения d_{ve}

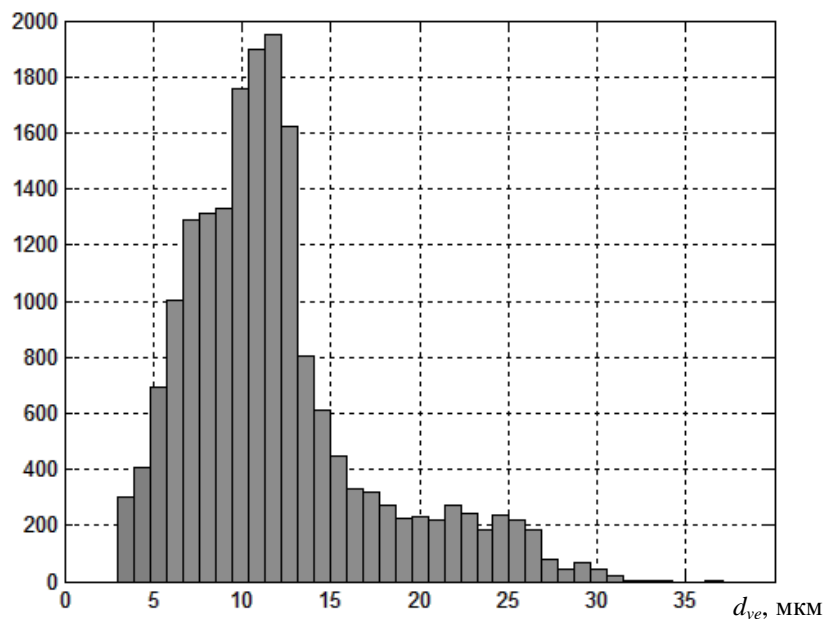


Рис. 3. Гистограмма распределения эквивалентного диаметра d_{ve} внутреннего просвета видимых сосудов бульбарной конъюнктивы

Достоверность предлагаемой методики определения d_{ve} можно подтвердить либо сложнейшими измерениями с помощью конфокальной лазерной микроскопии или численным экспериментом при моделировании транспорта фотонов в тканях бульбарной конъюнктивы 3D методом Монте-Карло [4] с применением тетраэдрической сетки вокселей, которые имеют изменяемые размеры.

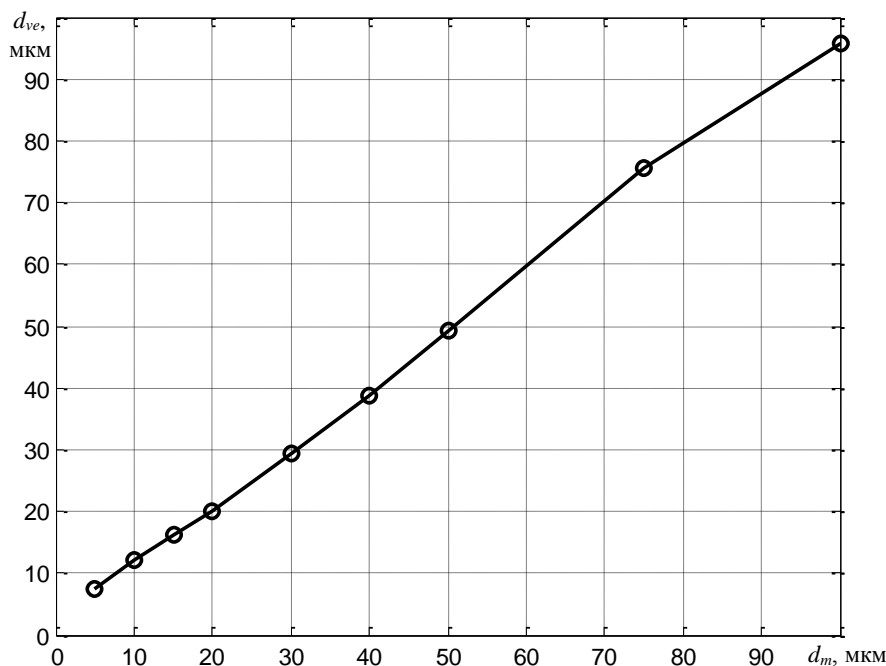


Рис. 4. Зависимость рассчитанных значений эквивалентного диаметра d_{ve} внутреннего просвета цилиндра с цельной кровью от задаваемых при моделировании его значений d_m при глубине залегания верхушки цилиндра 5 мкм

Авторы провели соответствующее моделирование, задавая спектр подсвечивающего излучения, соответствующий спектру излучения светодиода белого цвета, который применяется в установке для получения цифровых изображений склеры [1]. Моделировался параллелепипед, заполненный рассеивающей средой, параметры которой соответствуют моделируемым тканям склеры, и в него помещался цилиндр с параметрами среды, соответствующими цельной крови. При моделировании рассчитывались распределения потока фотонов, выходящих после рассеяния из моделируемой среды в направлении видеокамеры, при разных диаметрах цилиндра и глубинах его расположения.

Результаты моделирования, приведенные на рис. 4, указывают на правомерность предлагаемой методики определения d_{ve} .

1. *Firago V., Kubarko A., Hotra A., Volkova I* // Przegląd Elektrotechniczny ISSN 0033-2097, ISSN 0033-2097, R. 92 NR 8/2016. P. 105–108.
2. *Lisenko S.A., Firago V.A., Kugeiko M.M., Kubarko, A.I.* // Journal of Applied Spectroscopy, 2016, V. 83. P.617-626.
3. *MacKenzie L.E., Choudhary T.R., McNaught A.I., Harvey A.R.* // Exp. Eye. Res.2016, V.149. P. 48-58.
4. *Jacques S., Li T., u Prahl S.* «mcxyz.c, a 3D Monte Carlo simulation of heterogeneous tissues» [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: <http://omlc.org/software/mc/mcxyz/index.html>. Дата доступа: 17.09.2017.