

УДК 535.243;535.36

УПРОЩЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТОНУСА МАЛЫХ СОСУДОВ

В.А. ФИРАГО, М.М. КУГЕЙКО

Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Предложена модификация методики неинвазивного определения тонуса малых артериальных сосудов, основанной на использовании широкополосной спектроскопии диффузного отражения.

Ключевые слова: тонус артериальных сосудов, спектроскопия диффузного отражения, спектрометрия.

OPTIMIZATION OF SMALL VESSEL TONE ASSESSMENT METHODOLOGY

V. FIRAGO, M. KUGEIKO

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. A modification of the technique of noninvasive determination of the tone of small arterial vessels based on the use of broadband diffuse reflectance spectroscopy is proposed.

Keywords: arterial vessel tone, diffuse reflectance spectroscopy, spectrometry.

Введение

Микроциркуляторное русло, в котором происходят обменные процессы между кровью и окружающими тканями, активно участвует в регулировке перфузии. Его можно разделить на два бассейна: артериальный и венозный. Основным регуляторным звеном артериального бассейна являются артериолы, которые обеспечивают около 50 % сопротивления кровотоку [1]. Поэтому тонус малых артериальных сосудов, т. е. напряженность их стенок, является важным показателем при дифференциальной диагностике гипертензии, поскольку его значение в основном определяет диастолическое давление.

В статье [2] подробно рассмотрена проблема неинвазивного определения эластичности сосудов артериального бассейна микроциркуляторного русла пульсирующих тканей. Показано, что при использовании широкополосной спектроскопии диффузного отражения и усредненной формы фотоплетизмограммы возможно неинвазивное определение усредненных диаметра малых пульсирующих артериальных сосудов и коэффициента растяжения их стенок в кольцевом направлении. При этом используется минимизация отклонения моделируемого спектрально-временного профиля локального спектрального коэффициента диффузного отражения светового излучения от экспериментально регистрируемого в спектральной области 490-1100 нм. При моделировании применяется расчетная модель диффузного отражения света пульсирующей тканью, основанная на диффузионном приближении переноса светового излучения в рассеивающих средах, а также использовании параметров местной гемодинамики и измеренных значений систолического и диастолического давлений крови [2]. Создание соответствующей аппаратуры возможно при упрощении предложенной методики и алгоритмов моделирования.

Модификация расчетных выражений

Практическое применение этой методики осложняется необходимостью создания при регистрации спектрально-временных профилей диффузного отражения оптимального давления на ткань в точке исследования, при котором амплитуда пульсовых колебаний диаметра внутреннего просвета малых артериальных сосудов будет максимальной. При этом приходится приводить в непосредственный контакт с исследуемой тканью входную щель (защищенную

сапфировым окном) используемого миниатюрного спектрофотометра, например С12880МА, что приводит к необходимости модификации расчетных выражений, используемых в [2].

При непосредственном контакте входного окна спектрофотометра с пульсирующей тканью, например при его установке на подушечке большого пальца руки или ноги, отпадает необходимость учета составляющей, обусловленной перепадом коэффициента преломления на границе раздела сред. Тогда при непосредственном контакте торца оптоволокна, по которому поступает излучение галогенной лампы, или светодиодов белого цвета свечения с тканью в точке исследования, освещенность входной щели спектрофотометра выходящим из ткани излучением описывается диффузионной функцией Грина

$$\phi(r) = \frac{\Phi_S}{4\pi D(\lambda)r} e^{-\mu_{\text{eff}}(\lambda)r} \approx \frac{\Phi_S 3[\mu_a(\lambda) + \mu'_s(\lambda)]}{4\pi r} e^{-\sqrt{3\mu_a(\lambda)[\mu_a(\lambda) + \mu'_s(\lambda)]}r},$$

где r – расстояние до изотропного источника излучения; Φ_S – мощность излучения этого источника; $\mu_{\text{eff}} = \sqrt{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)}$ – эффективный показатель ослабления излучения средой; μ'_s и μ_a – приведенный показатель рассеяния и поглощения излучения тканью, соответственно; $D = 1/[3(\mu_a + \mu'_s)]$ – коэффициент диффузии фотонов в биоткани.

Это выражение используют при $\mu_s \gg \mu_a$ и $\mu_{\text{eff}}r \geq 0.7$, что в основном выполняется для биотканей. При вводе коллинеарного пучка излучения в рассеивающую среду глубина формирования в ткани изотропного источника в диффузионном приближении [3] полагается равной

$z_0 \approx 3D \approx 1/\mu'_s$, что позволяет вычислить значение $r = \sqrt{z_0^2 + \rho^2}$, где ρ – расстояние между точкой ввода излучения в ткань и центром входной щели спектрофотометра.

Результаты и их обсуждение

Коррекция расчетных выражений позволяет упростить аппаратуру и методику регистрации профилей диффузного отражения при определении параметров малых артериальных сосудов. Например, учет спектральной зависимости $\mu'_s(\lambda)$ в формулах двухволновой рефракционной пульсоксиметрии, позволяет установить причину изменения результатов определения сатурации гемоглобина артериальной крови кислородом при варьировании положением участков спектра, используемых в пульсоксиметрии. В выражение для определения сатурации приходится вводить корректирующую функцию $k(\lambda_1, \lambda_2) \approx \sqrt{[\mu'_s(\lambda_2)\mu_a^{\text{bla}}(\lambda_1)]/[\mu'_s(\lambda_1)\mu_a^{\text{bla}}(\lambda_2)]}$, где $\mu_a^{\text{bla}}(\lambda)$ – спектральный показатель поглощения светового излучения артериальной кровью.

Заключение

Предлагаемая модификация методики определения параметров малых артериальных сосудов упрощает создание соответствующей диагностической аппаратуры.

Список литературы

1. Инвазивный мониторинг гемодинамики в интенсивной терапии и анестезиологии: монография / В. В. Кузьков, М. Ю. Киров. Архангельск : Северный государственный медицинский университет, 2008. 244 с.
2. Фираго В.А. Оценка жесткости малых артериальных сосудов поверхностных биотканей по их спектрально-временным профилям диффузного отражения светового излучения / Журнал прикладной спектроскопии. 2024; Том 91 (1):107-123.
3. Notra O., Firago V., Shuliko K., Kisala P. Possibilities of Diffuse Reflectance Spectroscopy in Determining and Operational Control of the Optical Properties of Finely Dispersed Scattering Media / Electronics. 2023. Vol. 12: (1-25). DOI 10.3390/electronics12132893.