

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашиткова А. Р. Функциональные исследования в безопасном применении криотерапии // Криотерапия в России : Материалы XI Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 96-102.
2. Рузматов Ш. Х. Опыт применения общей криотерапии у спортсменов различных видов спорта // Лучшая научно-исследовательская работа 2020 : сборник статей XXIX Международного научно-исследовательского конкурса. – 2020. – С. 176-178.
3. Степанюк М. А., Левин М. Л., Герасимович Н. В. Влияние криотерапии на адаптацию кардио-респираторной системы организма спортсменов к физическим нагрузкам // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века : Материалы 19-й международной научной конференции, Минск, 23–24 мая 2019 года. – Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь. – 2019. – С. 20-23.
4. Жиженина Л. М., Клокова Т. Б. Методическая разработка исследовательского занятия по определению адаптационного потенциала системы кровообращения в школьном курсе биологии 8 класса // Молодой ученый. – 2016. № 12 (116). – С. 863-865.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕДИЦИНСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА» СТУДЕНТАМИ МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА *Стародубцева М. Н., Банный В. А., Кузнецов Б. К.*

Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

Актуальность. Частые осложнения коронавирусной инфекции COVID-19 – дыхательная недостаточность и поражение лёгких. Метод пульсоксиметрии позволяет оценить и контролировать кислородтранспортную функцию крови – одну из важнейших жизненных функций организма человека. При помощи пульсоксиметрии измеряют степень насыщения крови кислородом (SpO_2 , сатурацию) и отслеживают динамику ее изменения, что важно для диагностики лёгочной патологии, вызванной, например, вирусной инфекцией. Еще в начале 70-х гг. японский биофизик Такио Аоуаги установил, что пульсации интенсивности инфракрасного света, прошедшего через ткань ушной раковины, несут информацию о кислородном насыщении артериальной крови. Его теория метода двухволновой пульсовой оксиметрии стала основой для разработки и выпуска в 1974 г. первого коммерческого пульсового оксиметра. Современные пульсоксиметры совмещают достоинства классической спектрофотометрии и технических достижений в области LED-технологий и машинной обработки сигналов.

Цель – разработать методику подачи материала по физическим основам пульсоксиметрии в лабораторном практикуме по медицинской и биологической физике для студентов первого курса медицинского университета.

Результаты. Для лучшего понимания принципа работы пульсоксиметра, его возможностей и недостатков лабораторная работа включает две отдельные части.

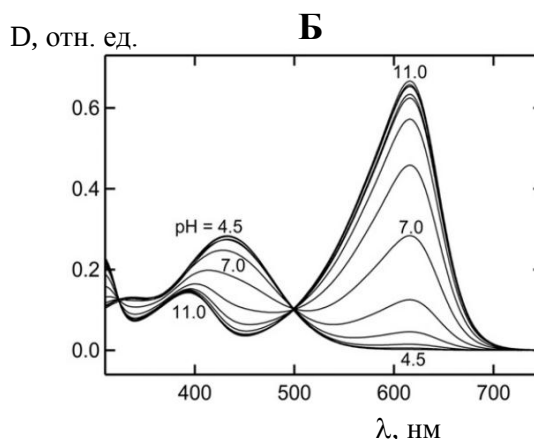
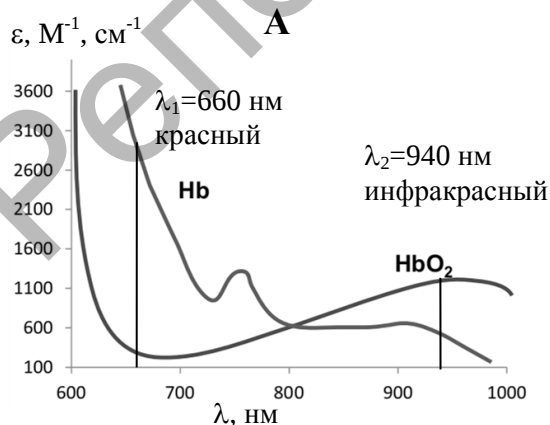
Во время выполнения первой части занятия студенты знакомятся с основами спектрофотометрии растворов гемоглобина. Демонстрируются спектры поглощения разных форм гемоглобина (оксигемоглобина и дезоксигемоглобина (рис. А), метгемоглобина, карбоксигемоглобина) в видимой и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра и анализируются их характерные особенности и различия. Студентам предлагается решить задачу определения концентрации двух форм гемоглобина (оксигемоглобина и дезоксигемоглобина) по данным оптической плотности ($D_{660\text{ нм}}$ и $D_{940\text{ нм}}$) и коэффициентов экстинкции этих форм для двух длин волн (660 нм и 940 нм) с использованием закона Бугера-Ламберта-Бера (оптический путь – 1 см):

$$\begin{aligned} D_{660\text{ нм}} &= \varepsilon_{\text{Hb}660\text{ нм}} C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2 660\text{ нм}} C_{\text{HbO}_2} \\ D_{940\text{ нм}} &= \varepsilon_{\text{Hb}940\text{ нм}} C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2 940\text{ нм}} C_{\text{HbO}_2}. \end{aligned} \quad (1)$$

После нахождения концентрации двух форм гемоглобина студенты определяют степень насыщения крови кислородом (сатурацию), которую рассчитывают по формуле:

$$\text{SpO}_2 = \frac{C_{\text{HbO}_2}}{C_{\text{HbO}_2} + C_{\text{Hb}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Студентам разъясняют основные схемы пульсоксиметра (в проходящем и отраженном свете), его составные части, обращая внимание на принцип работы светодиода (LED). Рассматриваются общий вид регистрируемой прибором кинетической кривой интенсивности света и упрощенная формула для расчета сатурации с использованием параметров кривой (модулей прироста интенсивности сигналов и самих интенсивностей сигналов в опорном и измерительном каналах).



**Рисунок – Спектры поглощения форм гемоглобина (А)
и бромтимолового синего при разных рН (Б)**

Цели второй (экспериментальной) части работы:

1) определение с помощью измерения оптической плотности на двух длинах волн соотношения кислой и основной форм бромтимолового синего в растворе [1];

2) измерение уровня тканевой сатурации пульсоксиметром и экспериментальное определение некоторых ограничений метода.

Бромтимоловый синий – краситель, широко используемый в качестве индикатора pH, т. е. вещества, меняющего цвет раствора в зависимости от концентрации ионов водорода в растворе (рис. Б). Этот краситель имеет две основные формы: кислую и основную. Водный раствор кислой формы бромтимолового синего окрашен в желто-оранжевый цвет, основной – в ярко синий. При нейтральных pH раствор красителя имеет зеленый цвет. Спектры двух форм бромтимолового синего хорошо изучены [2]. Эти спектры красителя различаются в области около 600 нм и практически совпадают при длине волны больше 700 нм, что в общих чертах характерно и для окси- и дезоксиформ гемоглобина (рисунок). Студенты экспериментально определяют оптическую плотность растворов красителя в кислой, основной форме, а также раствора с произвольным содержанием двух этих форм (зеленый раствор). Затем по формулам, аналогичным записанным ранее, студенты определяют концентрацию каждой из форм красителя при произвольном pH.

Во время измерения степени насыщения крови кислородом с помощью коммерческого пульсоксиметра студентам предлагается намеренно двигать конечностями или ходить, а также подержать руку в горячей или холодной воде перед измерением или использовать манжету, входящую в комплект механического тонометра, прибора для измерения давления крови, для кратковременного снижения/прекращения тока крови в конечности. Студенты анализируют полученные результаты и делают выводы об ограничениях метода.

Выводы. В процессе выполнения лабораторной работы будущие врачи изучают основы определения уровня тканевой сатурации методом пульсоксиметрии, последовательно знакомясь с основами определения концентрации соединений в двухкомпонентной смеси спектрофотометрическим методом теоретически и экспериментально с помощью индикатора pH – бромтимолового синего и принципом работы пульсоксиметра, открывая для себя преимущества и ограничения метода, что позволит им в своей будущей клинической практике использовать пульсоксиметры с большей эффективностью и пониманием результатов измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kutschera E. et al. Pulse oximetry in the physics lab: a colorful alternative to traditional optics curricula // The Physics Teacher. – 2013. – Vol. 51. – P. 495–497.
2. Shimada T., Hasegawa T. Determination of equilibrium structures of bromothymol blue revealed by using quantum chemistry with an aid of multivariate analysis of electronic absorption spectra // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2017. – Vol. 185. – P. 104–110.