

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ БУДУЩИМИ ВРАЧАМИ-ТЕРАПЕВТАМИ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ В КУРСЕ «МЕДИЦИНСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Стародубцева М.Н., Банний В.А., Кузнецов Б. К.

УО «Гомельский государственный медицинский университет»

Гомель, Беларусь

Представлен алгоритм занятия по усвоению физических основ актуального для эпохи пандемии коронавируса метода определения уровня насыщения артериальной крови кислородом, основанного на фотометрии смеси окси- и дезоксигемоглобина. Экспериментальный анализ метода на примере растворов бромтимолового синего способствует выявлению студентами условий применимости метода и возможных ошибок измерения.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF MASTERING THE PHYSICAL BASICS OF PULSE OXIMETRY BY FUTURE THERAPISTS IN THE COURSE “ MEDICAL AND BIOLOGICAL PHYSICS»

Starodubtseva M. N., Bannyi V. A., Kuznetsov B. K.

Gomel State Medical University

Gomel, Belarus

The algorithm of the lesson on mastering the physical basics of the method of determining the level of blood oxygen saturation, which is relevant for the era of the coronavirus (COVID-19) pandemic, based on photometry of a mixture of oxy – and deoxyhemoglobin, is presented. Experimental analysis of the method on the example of solutions of bromothymol blue helps students to identify the conditions for the applicability of the method and possible measurement errors.

Метод оценки уровня насыщения кислородом (сатурации) крови называют оксиметрией. В медицине наиболее распространена тканевая пульсоксиметрия с оценкой показателя тканевой оксигенации. Существует множество патологий, течение которых сопровождается хроническим недостатком кислорода в крови (гипоксией), при которых требуется постоянный контроль этого показателя. Пульсоксиметр — диагностический прибор для неинвазивного измерения уровня насыщения капиллярной крови кислородом, оценка которого основана фотометрическим методе определения различия в поглощении света разными формами гемоглобина (окси- и дезоксигемоглобина).

Целью настоящей работы является разработка алгоритма лабораторной работы по изучению физического принципа измерения сатурации крови пульсоксиметром.

Лабораторная работа по изучению физических основ пульсоксиметрии для студентов первого курса лечебного факультета по предмету «Медицинской и биологической физики» состоит из теоретической и экспериментальной частей.

Теоретическая часть включает изучение принципа определения концентрации окси- и дезоксигемоглобина в их произвольной смеси по спектрам поглощения и расчёт показателя сатурации. При физиологических

условиях по отношению к формам гемоглобина кровь представляет собой двухкомпонентную смесь, содержащую окси- и дезоксигемоглобин. В предложенной студентам теоретической задаче определение концентрации форм гемоглобина в крови проводится на основе знания оптической плотности на двух длинах волн, записи двух формул закона Бугера-Ламберта-Бера для оптической плотности раствора для этих длин волн и решении системы двух уравнений относительно неизвестных концентраций двух форм гемоглобина. Сатурация рассчитывается как отношение концентрации оксигемоглобина к сумме концентраций окси- и дезоксигемоглобина. В результате решения теоретической задачи становится понятно, что пульсоксиметры (и оксиметры) являются спектрофотометрическими двухволновыми сенсорами. Свет от двух светодиодов, излучающих свет один – на длине волны 660 нм, другой – на длине волны 940 нм, пропускают сквозь исследуемый участок тела (палец руки или ноги, мочку уха). Свет, прошедший через ткань с капиллярами, принимается расположенным на противоположной стороне участка фотодиодом, анализируется, и результат представляется на экране пульсоксиметра в виде сатурации в процентах. Сигналы на двух выбранных длинах волн имеют не только постоянную, но и переменную составляющие, обусловленные пульсацией крови и дыханием. Благодаря этому пульсоксиметры используют не только для анализа сатурации, но и оценки частоты пульса и регулярности ритма. Кроме того, студентам поясняется, что при патологиях, когда в крови имеются другие формы гемоглобина (например, карбоксигемоглобин, метгемоглобин) такие оксиметры дают ложные результаты, и необходимо использовать другие специальные приборы – многолучевые оксиметры (4 формы гемоглобина могут быть определены при измерении оптической плотности на 4 длинах волн). Присутствие в крови или в тканях пальца других веществ, имеющих спектр поглощения в красной и инфракрасной областях, может влиять на результаты измерения сатурации. Так, окраска ногтевой пластины декоративным лаком чёрного, темносинего и фиолетового цветов, увеличивают погрешность измерения сатурации крови. Движение тела или частей тела искажает результаты определения сатурации и пульса. Кроме того, состояния организма со слабой реперфузией (гипотермия, низкий сердечный выброс, вазоконстрикция) являются причиной получения неточных измерений с помощью пульсоксиметров.

Экспериментальная часть работы включает в себя оценку соотношения разных компонент двухкомпонентного раствора на примере фотометрического определения концентрации кислой и основной форм распространенного индикатора рН – бромтимолового синего [1]. Бромтимоловый синий имеет две формы в зависимости от величины рН раствора ($pK=7,3$): кислую, окрашенную в жёлто-оранжевый цвет, и основную, окрашенную в ярко синий цвет. При нейтральных рН раствор принимает зеленоватый оттенок. Студенты измеряют оптическую плотность раствора бромтимолового синего на двух выбранных длинах волн в кислых, щелочных и нейтральных условиях, используя для изменения рН растворы NaOH и HCl. Далее, используя формулы из решения описанной выше теоретической задачи, рассчитывают концентрации двух форм индикатора рН в произвольном нейтральном растворе.

Таким образом, студенты на занятии по предмету «Медицинская и биологическая физика» впервые знакомятся с физическим принципом измерения сатурации крови и получают необходимые в работе врача терапевтической специальностей практические навыки работы с пульсоксиметрами. Предложенный авторами алгоритм изучения физических основ пульсоксиметрии позволяет 1) детально разобрать теоретические основы фотометрического определения концентрации разных форм гемоглобина в крови с определением сатурации, 2) получить практические навыки в определении разных форм химического соединения на примере бромтимолового синего, 3) получить практические навыки работы с пульсоксиметром, проанализировать недостатки метода и возможные ошибки оценки сатурации крови в различных условиях.

Список литературы

1. Kutschera, E. Pulse oximetry in the physics lab: a colorful alternative to traditional optics. / E. Kutschera, J. C. Dunlap, M. Byrd, C. Norlin R. Widenhorn // The Physics Teacher. – 2013. – Vol. 51. – P. 495.