

УДК 612.117.5

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ САТУРАЦИИ КИСЛОРОДА В КРОВИ С ПОМОЩЬЮ УМНЫХ ЧАСОВ

Ш.Ф. РАДЖАБОВ, С.К. ДИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Рассматривается принцип работы портативного пульсоксиметра, а также два варианта его исполнения. Сравниваются результаты измерения содержания кислорода в крови, полученные с помощью умных часов таких производителей, как Apple, Samsung, Honor при различных состояниях пользователя.

Ключевые слова: гемоглобин, сатурация, инфракрасный свет, пульсоксиметр, умные часы.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF BLOOD OXYGEN SATURATION MEASUREMENTS USING SMART WATCHES

SHANRAM F. RAJABOV, SERGEY K. DIK

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The principle of operation of a portable pulse oximeter is considered, as well as two variants of its execution. The results of measuring the oxygen content in the blood, obtained using smart watches from manufacturers such as Apple, Samsung, Honor, under various user conditions are compared.

Keywords: hemoglobin, saturation, infrared light, pulse oximeter, smart watch.

Введение

Измерение кислорода в легких и в кровеносной системе дает возможность оценить состояние больного и при необходимости госпитализировать его. Это особенно актуально при поражении в результате COVID-19. Если у человека, который подозревает у себя это заболевание, есть соответствующее устройство, он может анализировать состояние в домашних условиях. Посредством этого приспособления делают анализ, который дает представление о текущем состоянии легких, кровеносной системы пациента. Если уровень кислорода находится на низком уровне, это говорит о *гипоксемии* – состояние требует неотложной медицинской помощи. Следует нормализовать уровень кислорода в легких и крови, в противном случае возможны осложнения вплоть до летального исхода.

Однако, не стоит полностью полагаться на *сатурацию* (показатель уровня насыщенности крови кислородом, %) и игнорировать другие методики определения заболевания, так как на него могут влиять следующие факторы: чувствительность устройства, цвет кожных покровов больного, тип освещения [1]. В норме у здорового человека отображаются показатели 95-98% [2].

Методика определения сатурации называется *пульсоксиметрия*, соответственно *пульсоксиметр* – это прибор с помощью которого можно получить данные об уровне насыщения крови кислородом [3].

Методика проведения эксперимента

Как уже говорилось, уровень сатурации измеряется пульсоксиметром, но оказывается эти приборы в медицинских учреждениях и датчики SpO₂ на фитнес-

браслетах и умных часах работают по одному и тому же принципу. Но небольшая разница, заключается в расположении датчиков. В классическом пульсоксиметре, светодиоды находятся с одной стороны, а фотодиод — с противоположной. Светодиоды излучают свет, который проходит сквозь палец и попадает на фотодиод, размещенный с обратной стороны (рис. 1).

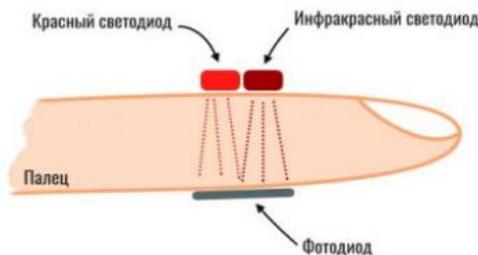


Рис. 1. Классическая вариация измерения сатурации пульсоксиметром

Обычно такие пульсоксиметры надеваются на палец или мочку уха. То есть, на ту часть тела, которую можно легко просветить. Соответственно, для фитнес-трекеров и смарт-часов такой вариант не подходит, так как просветить запястье не получится. В этом случае фотодиод размещается рядом со светодиодами и уже анализируется отраженный свет (рис. 2).

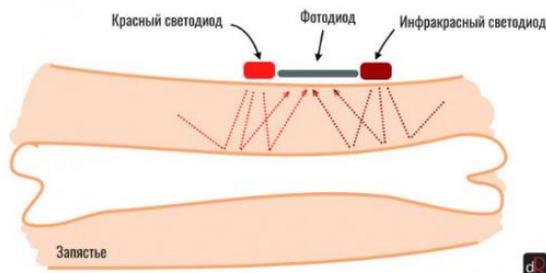


Рис. 2. Вариация измерения сатурации пульсоксиметром с помощью отраженного света

Во всем остальном — никакой разницы. Везде используется один и тот же принцип, только в медицинских приборах анализируется свет, пропущенный через ткани, а в трекерах — отраженный от тканей или костей.

Наличие только двух светодиодов и именно этих типов объясняется тем фактом, что оксигемоглобин (тот, что с кислородом) и дезоксигемоглобин (тот, что без кислорода) по-разному поглощают световые волны разной длины (рис. 3).

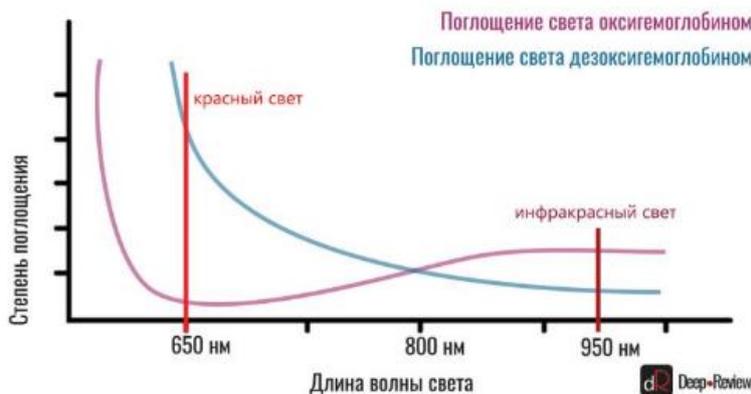


Рис. 3. График поглощения электромагнитных волн двумя типами гемоглобина

Из графика хорошо видно: оксигемоглобин поглощает больше инфракрасного света, чем красного, а дезоксигемоглобин, наоборот, гораздо лучше поглощает красный, чем инфракрасный свет. Получается, чтобы определить уровень насыщения крови кислородом, нужно узнать, сколько инфракрасного и красного света было поглощено гемоглобином.

Упрощенная модель выглядит так: светодиоды загораются на несколько миллисекунд, свет проходит через ткани и артерии, отражается (в основном от кости) и возвращается на фотодиод. Затем устройство сравнивает количество света, излученного светодиодами с количеством отраженного света, и определяет степень поглощения в спектрах.

При реализации на практике проявилось много проблем. Например, далеко не весь свет будет поглощаться гемоглобином, пульсоксиметру нужно как-то понять, какая часть света будет рассеиваться внутри тканей нашего тела. Решается эта проблема калибровкой при производстве устройства, где создается специальный график, который используется в дальнейшем при измерениях браслетом либо часами. Строится он по данным уровня кислорода, измеряемому пульсоксиметром и специальным лабораторным оборудованием.

Другая проблема связана с антропометрическими особенностями людей. Одно дело проводить измерение на худощавом запястье, где артерии видны невооруженным глазом и совсем другое — на запястье человека, страдающего лишним весом. Чем толще кожа или жировая ткань, тем больше света будет поглощено внутри тканей и это не имеет никакого отношения к уровню кислорода в крови. Решение этой сложной проблемы оказалось довольно простым.

Во время измерения, все ткани, кроме артерий, будут поглощать свет одинаково. Дело в том, что артериальная кровь постоянно пульсирует и это будет влиять на количество поглощенного света [5]. Ведь, чем больше крови в артерии, тем больше материала, поглощающего свет. Получается, при измерении датчик будет постоянно видеть периодические «изменения SpO₂», причем меняться значения будут в зависимости от пульса.

Соответственно, показания будут состоять из двух наборов данных: той части, что остается неизменной, и той, что меняется в такт пульса. Вот второй «пульсирующий» набор данных и сообщает о сатурации крови кислородом (рис. 4). Если по какой-то причине браслет не сможет поймать такт, то есть, точно определить пульс, он не сможет и точно определить SpO₂ (уровень кислорода в крови).

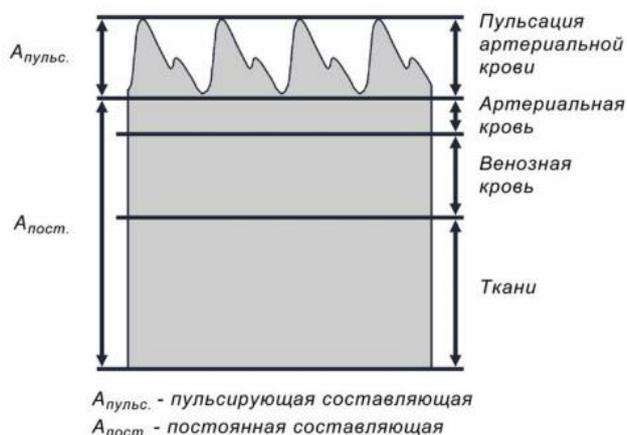


Рис. 4. Распределение абсорбции света в тканях

Кроме того, нужно учитывать следующее: любые движения создают серьезные помехи в сигнале. Поэтому более достоверные результаты получаются, когда пользователь находится в состоянии покоя.

Согласно исследованиям [7], показания прибора для измерения кислорода на запястье являются менее достоверными, так как область исследования тут ограничена, и на их точность существенно влияют такие факторы, как освещенность, давление, а также правильность расположения на запястье.

В исследовании [8] были взяты часы трех производителей — Apple Watch шестого поколения, Samsung Galaxy Watch 3 и Honor Watch ES. Их параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика умных часов

Параметр	Apple Watch Series 6	Samsung Galaxy Watch 3	Honor Watch ES
Экран	Прямоугольный, плоский, AMOLED, 1,57", 324×394 (325 ppi)	Круглый, плоский Super AMOLED, Ø1,4", 360×360	Прямоугольный, плоский, AMOLED, диаметр 1,64", 456×280 (326 ppi)
Материал	Нержавеющая сталь, титан, керамика, переработанный алюминий	Нержавеющая Сталь, Пластик	Пластик
Датчики	Барометрический высотомер постоянного действия, акселерометр нового поколения, гироскоп нового поколения, электрический датчик сердечной активности, оптический датчик сердечного ритма, датчик внешней освещенности, пульсоксиметр (SpO2)	Барометр, акселерометр, гироскоп, датчик сердечной активности, датчик измерения ЭКГ, датчик внешней освещенности, шагомер, измерение насыщенности крови кислородом, компас, глубиномер	Акселерометр, гироскоп, датчик освещенности, шагомер, пульсометр, измерение насыщенности крови кислородом
CPU	Apple S6, 2 ядра	Exynos 9110 (2 ядра @1,15 ГГц)	Huawei Kirin A1
Габариты (мм)	40×34×10,7	45×46,2×11,1	46×30×10,7
Аккумулятор (мАч)	Li-Ion, 303,8	Li-Ion, 340	Li-Ion, 180
Масса (г)	48	53,8	34
Емкость встроенного накопителя, ГБ	32	8	4
Стоимость, бел. руб.	1200	850	600

Для измерения кислорода в Apple Watch шестого поколения предназначено отдельное приложение, а результаты заносятся в приложение «Здоровье» (рис. 5).



Рис. 5. Результаты измерения сатурации часами фирмы Apple

Перед началом измерения необходимо ознакомиться с процессом измерения кислорода в крови с помощью часов Apple Watch: место расположения часов на запястье и степень прижатия датчиков часов к кожному покрову. Часы измеряют сатурацию в течение 15 секунд, график при этом не выводится. Если при этом сдвинуть руку, измерение будет признано неудачным, а его результаты не зафиксируются в часах. После окончания замера показывается только насыщенность крови кислородом, но не пульс. Если провести подряд несколько измерений, показатели меняются в пределах двух процентов. Нехватку кислорода из-за задержки дыхания Apple Watch никак не отразили, а вот учащенное дыхание после физических упражнений отразилось на измерениях — уровень кислорода в крови достиг 100%.

Перед началом измерения часы Samsung Galaxy Watch 3 дадут вам довольно подробную инструкцию о том, где расположить часы (лучше — ближе к сердцу), как подготовиться к измерению, а также напомнят о нормальном диапазоне насыщенности кислородом и влиянии таких факторов, как физические упражнения, высота над уровнем моря и состояние здоровья.

Samsung Galaxy Watch 3 измеряют уровень кислорода в крови, а также пульс, в течение 15 секунд, если сидеть неподвижно, и в течение 40 секунд — если зафиксировано движение (рис. 6). Во время измерения строится график — голубая линия, но является ли он отражением сердцебиения во время замера, и о чем говорит — непонятно. К полученным результатам можно добавить метку о самочувствии, также данные о последнем измерении будут показываться рядом со значком-капелькой в приложении Samsung Health.



Рис. 6. Результаты измерения сатурации часами фирмы Samsung

Результаты трех проведенных подряд измерений со спокойным дыханием отличались на 1-2%. Задержка дыхания никакого влияния на результат не оказала, интенсивная кардионагрузка и сбитое дыхания на данные также никак не повлияли.

Перед началом измерения в умных часах Honor дается лаконичный совет не двигаться и повернуть часы циферблатом к себе, после чего дается 3 секунды на подготовку.

Honor Watch ES измеряют одновременно кислород и пульс. Если сидеть неподвижно, все займет секунд 15-20, если двигаться — 45 секунд. На экране при этом демонстрируется кружок, который медленно заполняется красной жидкостью (рис. 7). Если движений было слишком много, после этого часы напомнят о необходимости не двигаться и предложат повторить.

После измерения выводятся данные об уровне кислорода и пульсе, причем если остаешься в том же меню, то показатели некоторое время меняются. Например, во время первого измерения итоговый результат сначала упал со 100% до 97%, затем поднялся до 99% и на этом зафиксировался. Второе контрольное измерение показало падение с 95 до 93% и обратное повышение до 94%.



Рис. 7 Результаты измерения сатурации часами фирмы Honor

На задержку дыхания, так же, как и на его учащение датчики Honor Watch ES не отреагировали, показав результат в 98% в обоих случаях.

Результаты и их обсуждение

Производители умных часов постоянно подчеркивают, что их изделия не являются медицинскими приборами. Точность измерения уровня кислорода в крови умными часами вызывает вопросы и вряд ли в ближайшем будущем будет восприниматься врачами как значимый фактор при диагностике.

Все рассмотренные устройства обладают довольно высокой погрешностью около 2-3 %. У часов фирмы Samsung не изменяется значение сатурации после физических активностей или задержки дыхания. У умных часов Honor значение уровня кислорода в крови плавает при нахождении в меню. Apple Watch из трех рассмотренных часов имеют лучшие технические характеристики и результаты измерений сатурации, также в них выводятся инструкции и напоминания. А также они реагируют на физ. нагрузки, поэтому часы Apple лучшие из данной выборки, хотя даже их результаты имеют высокую погрешность.

Заключение

Несмотря на погрешности измерения, на бытовом уровне умные часы вполне могут быть полезны. Например, умные часы могут отследить и зафиксировать такую опасную штуку, как апноэ во сне (паузы в дыхании вплоть до нескольких минут).

Кроме того, я бы предложил рассмотреть возможность на время измерения сатурации часы смещать на внутреннюю часть запястья. Связано это с большим количеством артерий и вен, а также лучшим их расположением для исследования. Например, существует методика определения пульса по лучевой артерии без каких-либо приспособлений, просто нажатием пальца по ней. Возможно, располагая часы чувствительной частью над этой артерией можно добиться лучших результатов, но возникает вопрос с точным расположением часов. Это одно из направлений для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Сатурация кислорода в крови при коронавирусе [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://el-klinika.ru/saturacziya-kisloroda-v-krovi-pri-koronaviruse/?ysclid=I9okc3znwu592734442>. – Дата доступа: 25.10.2022.
2. Как работает пульсоксиметр? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medteh-murm.ru/blog/kak_rabotaet_pulsoksimetr/?ysclid=I9ojp91lqe218650551. – Дата доступа: 25.10.2022.
3. Пульсоксиметр: зачем нужен и как правильно пользоваться [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ayazdorov.ru/info/articles/pulsoksimetr_zachem_nuzhen_i_kak_pravilno_polzovatsya/?ysclid=I9ojoyeos5914794734. – Дата доступа: 20.10.2022.
4. Как работает пульсоксиметр на часах и фитнес-браслетах с функцией измерения SpO2
5. Пульсоксиметрия: физические принципы и применение в медицине. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://medphys.phys.msu.ru/pract/pulsoximetria.pdf>. – Дата доступа: 22.10.2022.
6. Пульсоксиметр: зачем нужен и как правильно пользоваться [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ayazdorov.ru/info/articles/pulsoksimetr_zachem_nuzhen_i_kak_pravilno_polzovatsya/?ysclid=I9ojoyeos5914794734. – Дата доступа: 20.10.2022.
7. Reflectance pulse oximetry: Practical issues and limitations [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959516301205>. – Дата доступа: 25.10.2022.
8. Измерение кислорода в крови умными часами: как это работает и можно ли доверять результатам [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.dgl.ru/technique/smart-watch/izmerenie-kisloroda-v-krovi-umnymi-chasami-kak-eto-rabotaet-i-mojno-li-doveryat-rezultatam_18425.html?ysclid=I9ojoteo30311580832. – Дата доступа: 22.02.2022.