



Evolution of the Pulse Ox



Bennett Yang, BS
Joel Moss, MD, PhD, FCCP
Bethesda, MD

[164 #1 **CHEST** JULY 2023]

Эволюция пульсоксиметра
Перевод Е.Е. Осинной



Эволюция пульсоксиметра

Bennett Yang, Joel Moss, Bethesda,

СОКРАЩЕНИЯ: Hb = гемоглобин; OНb = оксигемоглобин; SpO₂ = насыщение крови кислородом

Пальцевой пульсоксиметр, изобретенный в 1974 году Такуо Аояги (Такуо Аоуаги), стал незаменимым прибором для медицинских работников [1]. Устройство излучает диапазон волн красного (660 нм) и ближнего инфракрасного (940 нм) света через палец пациента на детектор, который измеряет коэффициент пропускания каждой длины волны. Оценка насыщения крови кислородом (SpO₂) зависит от дифференциального поглощения этих длин волн гемоглобином (Hb) и оксигемоглобином (OНb). Насыщенная кислородом кровь поглощает больше света в ближнем инфракрасном диапазоне, а дезоксигенированная кровь сильнее поглощает волны в красном диапазоне вследствие того, что она выглядит темнее [2].

Измерения SpO₂ часто используются для контроля потребности пациентов в кислороде и важны настолько, что их называли “пятым жизненно важным показателем” [2,3]. Однако, широкое использование пульсоксиметров выявило несколько технических ограничений, которые могут повлиять на их точность и надежность. Исследование, проведенное в Великобритании, показало, что до 30,5% пульсоксиметров были неисправны из-за проблем с электрическими схемами или неправильными спектрами излучения [4]. Ни одна из 29 больниц, участвовавших в исследовании, регулярно не калибровала свои устройства [4]. Это подчеркивает важность регулярного технического обслуживания и калибровки пульсоксиметров.

Кроме того, погрешность пульсоксиметрии имеет тенденцию увеличиваться по мере десатурации у пациентов, в то время, когда быстрые и точные измерения наиболее важны [5]. Проблема с калибровкой частично связана с этическими соображениями снижения сатурации у здоровых пациентов для стандартизации устройства в этом диапазоне [5]. Ряд клинических состояний



может повлиять на точность измерений пульсоксиметра. Например, пульсоксиметрия может быть затруднена, либо давать неточные результаты у пациентов с плохой перфузией кончиков пальцев: это пациенты с гиповолемией, сердечной недостаточностью или вазоконстрикцией [2,6]. Пульсоксиметры также могут давать ложные результаты при отравлении угарным газом, тяжелой анемии или сепсисе, а также у пациентов, пользующихся лаком для ногтей [2].

Более того, пульсоксиметры, как правило, менее эффективны при мониторинге уровня SpO₂ у тренирующихся пациентов из-за артефактов движения [6]. Физические упражнения также могут усугубить исходные проблемы с перфузией, такие как сердечная недостаточность [6]. Налобные пульсоксиметры, как правило, работают лучше в таких ситуациях [6], но они более заметны и могут отвлекать пациентов, которым необходимо контролировать уровень SpO₂ во время повседневной деятельности. Поэтому медицинским работникам следует тщательно продумать тип пульсоксиметра для каждого отдельного пациента и ситуации.

Последняя, наиболее яркая проблема пульсоксиметра, стала, к сожалению, очевидной из-за недавней и продолжающейся пандемии COVID-19: пульсоксиметры дают систематические ошибки у цветного населения [7,8]. Причиной таких ошибок стал меланин, пигмент, содержащийся в коже, который поглощает свет в широком диапазоне длин волн и ограничивает количество света, проходящего через палец. Это приводит к тому, что длина пути света, возвращающегося к детектору, уменьшается с увеличением поглощения. Таким образом, при высоком содержании меланина образцы тканей будут в первую очередь взяты с поверхности кожи, в то время как более низкое содержание меланина позволит взять образцы более глубоких тканей. Это может привести к существенной систематической ошибке при сравнении тканей с высоким содержанием меланина и с низким содержанием меланина. Это явление уменьшения длины пути с увеличением поглощения в тканях хорошо известно в данной области и непосредственно наблюдалось в работе по трансмуральной иллюминации сердца (Robert S. Balaban, Доктор философии, личное сообщение, декабрь 2022 г.).



Другая проблема заключается в том, что калибровка пульсоксиметров не стандартизирована [1]. Это поднимает вопросы о разнообразии добровольцев, участвующих в исследованиях, используемых для получения референтных значений. Если испытуемые набираются не из достаточно разнообразной популяции, то калибровка потенциально может привести к искажению показаний прибора для цветных групп населения.

В результате того, что пульсоксиметры часто завышают показатель SpO₂ в цветных популяциях, это подвергает данных пациентов значительно большему риску скрытой гипоксемии, опасного состояния, при котором насыщение артериальной крови кислородом составляет менее 88%, но SpO₂ превышает 92% [7,8]. Эти ошибки в сочетании с различным социально-экономическим неравенством могут привести к худшим результатам лечения для этих групп населения от COVID-19 [9]. Серьезность этой проблемы побудила FDA (U.S. Food and Drug Administration) изучить данные о существующих недостатках пульсоксиметров. Они рассматривают возможность обновления своего сообщения о погрешности пульсоксиметра, первоначально опубликованное 19 февраля 2021 г [10].

Многие публикации признают погрешность пульсоксиметров, что является шагом в правильном направлении, но лишь немногие предлагают пути решения или прототипы устройств для улучшения. Мы считаем, что другие согласятся с тем, что настало время предпринять шаги по повышению точности измерения пульсоксиметров для всех групп населения.

Одним из многообещающих методов является недавняя разработка пульсоксиметра с зеленым светом [11]. Это устройство основано на предположении, что разница в спектрах поглощения между Hb и O₂Hb наибольшая в зеленом свете [11]. Исследователи учитывают содержание меланина, используя хроматическую шкалу Фон Лушана (Von Luschan Chromatic Scale), цветовая гамма пигментации кожи варьировала в диапазоне от 1 до 36, где 1 – самый светлый оттенок кожи, а 36 – самый темный. Эта шкала использовалась для корректировки на завышение показателя SpO₂ [11]. Мы считаем, что эта или другие связанные с ней стратегии с поправкой на содержание меланина должны быть реализованы во всех существующих и будущих пульсоксиметрах.



Мы также рады сообщить, что Национальный Институт сердца, легких и крови (National Heart, Lung, and Blood Institute) недавно запустил проект Small Business Innovation Research (PHS2023-1 NIH/NHLBI, Topic 114). Данный проект предлагает два этапа финансирования разработки нового пульсоксиметра для пациентов с риском десатурации, в том числе перенесших COVID19. Он должен быть беспроводным, не чувствительным к движению и взаимодействовать с мобильными устройствами, чтобы обеспечить удобный доступ к данным во время физических упражнений, повседневной жизни или сна. Это поможет минимизировать трудности, связанные с получением данных с пульсоксиметра, позволяя осуществлять непрерывный мониторинг на дому и без присмотра. В проекте также подчеркивается важность разнообразия субъектов, участвующих в измерениях, чтобы избежать систематических ошибок у лиц с более темным оттенком кожи.

Такуо Аояги, может, и не получил Нобелевскую премию 2013 года, на которую был номинирован [1], но изобретение пульсоксиметра произвело революцию в контроле оксигенации пациентов. Он также осознавал необходимость расширения теории, лежащей в основе изобретения [1]. Мы надеемся, что разработка новых технологий пульсоксиметрии почтит наследие Аояги и предложит медицинским работникам и пациентам более надежное устройство. (Рис 1)



Эволюция пульсоксиметра



Рис. 1 Графический обзор разработки и развития пульсоксиметра. NHLBI SBIR = National Heart, Lung, and Blood Institute Small Business Innovation Research program.

Финансирование

Авторы были профинансированы программой очных исследований Национального института здравоохранения/Национального института сердца, легких и крови. (National Institutes of Health/National Heart, Lung, and Blood Institute).

Благодарность

Другие материалы: Мы благодарим Dr Robert S. Balaban за полезные обсуждения механизмов расхождений в результатах пульсоксиметрии в зависимости от цвета кожи.

Роль спонсоров: Спонсор не принимал участия в разработке исследования, сборе и анализе данных или подготовке рукописи.



Ссылки на литературу

1. Miyasaka K, Shelley K, Takahashi S, et al. Tribute to Dr. Takuo Aoyagi, inventor of pulse oximetry. *J Anesth.* 2021;35(5):671-709.
2. Chan ED, Chan MM, Chan MM. Pulse oximetry: understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respir Med.* 2013;107(6):789-799.
3. T.A. Neff, Routine oximetry: a fifth vital sign, *Chest.* 1988;94(2):227.
4. Milner QJ, Mathews GR. An assessment of the accuracy of pulse oximeters. *Anaesthesia.* 2012;67(4):396-401.
5. Webb RK, Ralston AC, Runciman WB. Potential errors in pulse oximetry. II. Effects of changes in saturation and signal quality. *Anaesthesia.* 1991;46(3):207-212.
6. Kelly KL, Carlson AR, Allison TG, Johnson BD. A comparison of finger and forehead pulse oximeters in heart failure patients during maximal exercise. *Heart Lung.* 2020;49(3):259-264.
7. Valbuena VSM, Barbaro RP, Claar D, et al. Racial bias in pulse oximetry measurement among patients about to undergo extracorporeal membrane oxygenation in 2019-2020: a retrospective cohort study. *Chest.* 2022;161(4):971-978.
8. Sjoding MW, Dickson RP, Iwashyna TJ, Gay SE, Valley TS. Racial bias in pulse oximetry measurement. *N Engl J Med.* 2020;383(25): 2477-2478.
9. Fawzy A, Wu TD, Wang K, et al. Racial and ethnic discrepancy in pulse oximetry and delayed identification of treatment eligibility among patients with COVID-19. *JAMA Intern Med.* 2022;182(7):730-738.
10. Pulse Oximeter Accuracy and Limitations: FDA Safety Communication, US Food and Drug Administration; 2021. Accessed December 11, 2022. <https://www.fda.gov/medical-devices/safetycommunications/pulse-oximeter-accuracy-and-limitations-fdasafety-communication>
11. Gokhale SG, Daggubati V, Alexandrakis G. Innovative technology to eliminate the racial bias in non-invasive, point-of-care (POC) haemoglobin and pulse oximetry measurements. *BMJ Innov.* 2023;9(2):73-77.