

Особенности применения технологии esCCO для диагностики состояния человека

Е.В. Порфирьева,* В.В. Давыдов

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, институт электроники и телекоммуникаций
Россия, 194064, Санкт-Петербург, Политехническая улица, д. 29*

(Поступила в редакцию 30.05.2023; подписана в печать 04.09.2023)

Обоснована необходимость расширения применения технологии esCCO в целях определения состояния здоровья человека, особенно когда он находится в критическом состоянии или близком к нему. В таких ситуациях быстрое и точное получение информации о сердечном выбросе является важным фактором для принятия решений врачами и обеспечения оптимальной медицинской помощи. Преимуществом технологии esCCO является ее способность предоставлять необходимую информацию за более короткий промежуток времени, чем с использованием других методов. Это позволяет врачам быстро оценить изменения в сердечном выбросе и принять соответствующие меры для нормализации состояния пациента. Рассмотрены особенности технологии esCCO для определения состояния здоровья человека в различных ситуациях, где изменения сердечного выброса играют ключевую роль. Представлены примеры регистрации различных параметров, необходимых для расчета сердечного выброса по методике esCCO и экспериментальные исследования изменения сердечного выброса во времени.

PACS: 87.80.-y

УДК: 53.07

Ключевые слова: состояние человека, сердечно-сосудистая система, сердечный выброс, параметры жизнедеятельности.

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни существует большое число факторов, которые влияют на состояние здоровья человека [1–7], которое в процессе жизни, в основном, ухудшается. Это привело к тому, что люди используют большое число различных средств и лекарств. Чтобы убедиться в эффективности их применения необходим быстрый и эффективный контроль состояния здоровья [3, 4, 6–10]. Особенно повышенное внимание в этой ситуации уделяется методам экспресс-диагностики [3, 4, 6, 10, 11]. Среди них наиболее востребован метод экспресс-диагностики состояния сердечно-сосудистой системы, так как заболевания этих важных органов наиболее распространены [8–12]. Кроме того, заболевания и повреждения сердечно-сосудистой системы оказывает существенное влияние на другие органы человека [4–13]. Сердце считается «мотором» в организме человека, любое подвижное средство при плохом моторе мало что может. Поэтому его надо беречь и осуществлять постоянную диагностику.

Для экспресс-диагностики сердца наибольшее применение получили методики на основе анализа электрокардиограммы (ЭКГ), эхокардиограмма, суточный мониторинг и метод esCCO [2, 5, 12–15]. Метод esCCO (estimated Continuous Cardiac Output — расчетное непрерывное измерение сердечного выброса) обладает рядом особенностей, которые отличают его от рассмотренных методов, что делает его более предпочтительным по применению в ряде случаев. В клинической практике для исследования сердечного выброса используются инвазивные методы исследования. Это

катетер Сван–Ганса с пьезо-акустическими датчиками давления, эхокардиография с использованием пищевого датчика, который позволяет визуализировать переднюю поверхность левого желудочка (классическая эхокардиография с помощью ультразвука — с внешней поверхности кожи — это не видит) и компьютерной томографии (КТ) с использованием контрастирующих веществ, которые вводятся внутривенно. Эти методы для людей применять очень сложно, никто не знает реакцию человека на использование этих методов. Кроме того, использование катетера Сван–Ганса (самого точного метода) в ряде случаев крайне опасно. Ряд осложнений, которые могут возникнуть: перфорация сердца (признаки тампонады перикарда), тромбоз и эмболии, разрыв легочной артерии (при прямом повреждении стенки артерии внезапное легочное кровотечение), инфекционный эндокардит, катетерный сепсис (длительность катетеризации не должна превышать 2–3 суток), узлообразование катетера (скручивание катетера при избыточно глубокой установке) и т.д.

Основным преимуществом метода esCCO является неинвазивность, что позволяет его применять большое число раз за непродолжительный промежуток времени [13–17]. Это крайне важно в анестезиологии, реаниматологии, хирургии и т.д. Данный метод позволяет за меньшее количество различных манипуляций получить более подробные данные. В esCCO одновременно используются электроды ЭКГ и пульсоксиметрический датчик (совмещены несколько разных методов исследования). К тому же синхронное проведение нескольких измерений с использованием одного прибора позволяет более точно определить изменения в состоянии здоровья человека.

Для измерений в esCCO применяется в основном прикроватный монитор Nihon Kohden Vismo PVM-2703, а также мониторы с расширенными функциями

* porfirieva.ev@edu.spbstu.ru

ми BSM3532, BSM3733 и другие. Это требует более подробного исследования особенностей использования технологии применения esCCO.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ esCCO

Особенности применения метода esCCO надо рассматривать из того, что получаемая для анализа информации является расчетным непрерывным сердечным выбросом, который вычисляется на основе параметров жизнедеятельности. Для получения этого параметра необходимы электроды ЭКГ, пальцевой датчик SpO₂ и манжета НИАД (неинвазивное измерение артериального давления). Такие измерения исключают прямой контакт измерительных датчиков с внутренними органами человека. Для расчета сердечного выброса используется следующая формула:

$$esCCO = k * (\alpha * PWTT + \beta) * HR, \quad (1)$$

где k — коэффициент калибровки, основанный на биометрических характеристиках пациента, включающих рост, массу тела, пол и возраст; α — константа, которая была определена экспериментально при разработке технологии esCCO; PWTT — время транзита пульсовой волны; β — переменная, которая является производной пульсового давления; HR — частота сердечных сокращений.

Для использования (1) необходимо реализовать калибровку. Существует два типа калибровки esCCO: минимально инвазивная калибровка и неинвазивная калибровка. Особенностью минимально инвазивной калибровки является то, что необходимо провести сравнение рассчитанной величины сердечного выброса сердечным выбросом, полученным с внешнего устройства. Таким устройством может быть рассмотренные ранее инвазивные методы. Получается, что перед использованием esCCO на пациенте, необходимо инвазивным методом один раз выполнить измерения и по нему откалибровать esCCO (отсюда минимально инвазивная). Это возможно только в специализированном лечебном заведении. Такая особенность использования esCCO резко ограничивает возможности его применения.

В нашей работе рассматривается особенность применения неинвазивной калибровки esCCO. В этом случае сигнал esCCO калибруется под стандартный сигнал сердечного выброса для определенной группы людей с определенными параметрами, которые располагаются в узком диапазоне изменения. В группу испытуемых входят 100 пациентов с одинаковыми параметрами (рост, вес, возраст), которые не имеют вредных привычек и занимаются спортом для поддержания своего здоровья. В работе на рис. 1 представлен такой вариант калибровки. Один из авторов статьи с данными (возраст 56 лет, вес 79 кг, рост 182 см) в медицинском учреждении прошел обследование по изменению

сердечного выброса во времени. На рис. 1 динамика изменения выброса представлена оранжевым цветом. Калибровка esCCO была реализована с использованием КТ. Синий график сердечного выброса соответствует среднему значению изменения сердечного выброса по данной возрастной группе с определенными параметрами организма. Также выделены опорные точки и указан доверительный интервал для каждой из них. Средние значения были сняты с интервалом в 2 часа с 8:00 до 20:00, пока человек бодрствовал. Следующие точки получены в 24:00 и в 6:00 (следующего дня). Во время вечернего отдыха со сном и ночного сна данные не получали, так как людям (пациентам) нужен был отдых (в этот период было установлено одно контрольное время в 24:00 для проведения измерений).

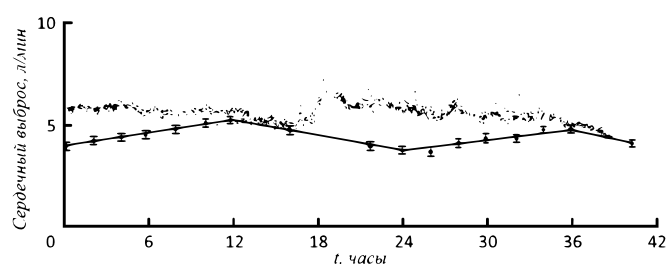


Рис. 1. Зависимость изменения минутного сердечного выброса от времени t

Анализ полученного результата показывает, что градуировку по предлагаемому стандартному сигналу реализовать крайне сложно, так как нет пересечений у двух графиков на рис. 1. Возможны существенные расхождения с реальностью. Это подтверждает полученный сердечный выброс за тот же интервал времени с одним и тем же жизненным циклом человека при обследовании (рис. 2).

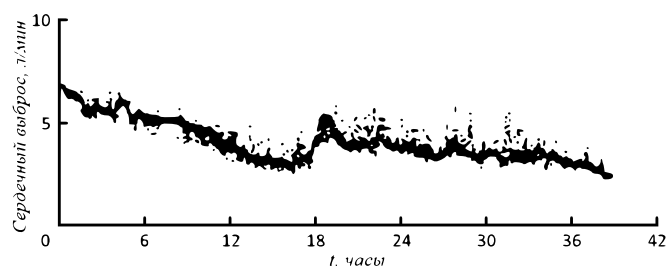


Рис. 2. Зависимость изменения минутного сердечного выброса от времени t за тот же интервал времени

Полностью не совпадают данные в промежутке времени от 0 до 18 ч как по значениям, так и по характеру изменения. В остальном интервале времени наблюдается устойчивое отличие по значениям сердечного выброса между двумя случаями исследования. В одном случае состояние человека стабильно. В другом случае состояние нестабильно и требуются дополнительные измерения, например, артериального давления

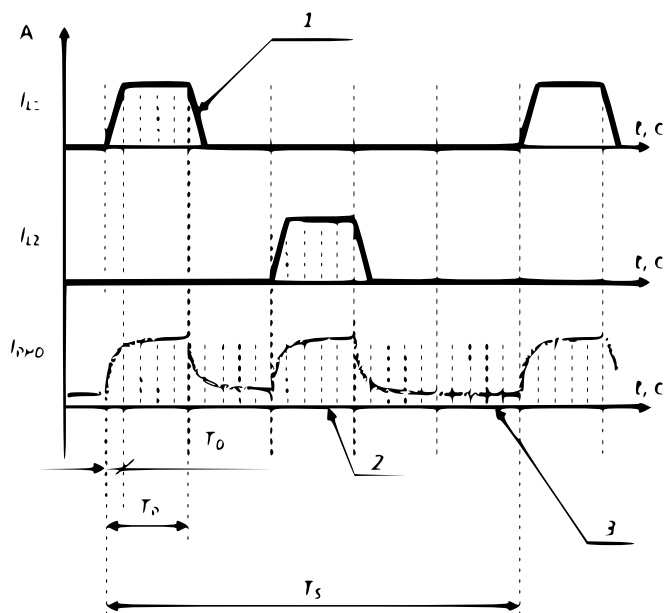


Рис. 3. Эпюры сигналов лазерных диодов (I1 и I2) двух длин волн и тока фотоприемника ИРНД

и сосудистого сопротивления. В целом можно рекомендовать пройти комплексное обследование.

Такое различие можно объяснить тем, что в стандартном сигнале, который используется для калибровки, не учитываются особенности человека, связанные с его родом деятельности, место проживания и т.д. Игнорирование этих особенностей использования esCCO приводит к получению недостоверных результатов.

Необходимо отметить, еще одну особенность технологии esCCO. Все устройства, которые используются для измерений параметров жизнедеятельности человека калибровать отдельно не надо. С их помощью реализуются прямые измерения.

Рассмотрим в качестве примера работы одного из таких устройств измерения для реализации технологии esCCO фотоплетизмограмма (ФПГ). В данной технологии с помощью пальцевого датчика происходит снятие ФПГ-сигнала. Фотоплетизмограмма, снимаемая с фотоприемника, регистрируется в импульсном режиме (рис. 3).

Более подробное рассмотрение работы пульсоксиметров представлено в [3, 4, 9, 10]. Величина полезного сигнала будет изменяться прямо пропорционально количеству рассеиваемого излучения, а значит, количеству гемоглобина и оксигемоглобина в крови, изменение которых происходит под воздействием пульсовых волн. С использованием зарегистрированной пульсовой волны определяется значение PWTT и HR.

Этот пример, показывает, что существенной особенностью технологии esCCO является то, что для её реализации не требуются специальные навыки у медицинского персонала (технология проста).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты показывают, что технология esCCO является наиболее эффективной и практичной для применения в различных случаях. С её помощью диагностика состояния здоровья человека может быть проведена во время лечения любой интенсивности (не только во время серьёзных операций), но и при проведении менее рискованных процедур, которые могут привести к осложнениям, например, с точки зрения гемодинамики. Существенный недостаток этой технологии связан с методикой калибровки, которая должна быть основана на использовании только результатов, полученных с применением неинвазивных методов. Это будет предметом наших дальнейших исследований, так решение данной задачи значительно расширит возможности применения esCCO простыми людьми в домашних условиях.

- [1] Isaenko D., Reznikov B., Stepanenkov G. et. al. // Proceedings of the 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics. P. 315. (2022).
- [2] Zaichenko K., Afanasenko A., Kordyukova A. et. al. // Proceedings of 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics. P. 83. (2022).
- [3] Greutseva A., Smirnov K., Greshnevikov K. et. al. // J. of Physics: Conference Series. **1368**, N 2, 022072. (2019).
- [4] Mazing M., Zaitceva A., Kislyakov Y. et. al. // Intern. Journal of Pharmaceutical Research. **12**, 1974. (2020).
- [5] Zaichenko K., Gurevich B., Soyatkina V. // Proceedings of 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics. P. 310. (2022).
- [6] Yakusheva M., Davydov R., Isakova D. // Proceeding of 2022 8th International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT. P. 145. (2022).
- [7] Zaichenko K., Gurevich B., Kordyukova A. et. al. // Proceedings of 2022 International Conference on Electrical

Engineering and Photonics (EExPolytech-2022), P. 320. (2022).

- [8] Naumova V., Kurkova A., Davydov R., Zaitceva A. // Proceedings of the 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics, (EExPolytech-2022). P. 151. (2022).
- [9] Davydov R., Antonov V., Yushkova V. et. al. // Journal of Physics: Conference Series, **1400**, N 6, 066037. (2019).
- [10] Davydov R., Mazing M., Yushkova V. et. al. // Journal of Physics: Conference Series, **1410**, N 1, 012067. (2019).
- [11] Kislyakov Y., Avdyushenko S., Kondakova N., Zaitceva A. // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, **16**, N 11, 4502. (2019).
- [12] Davydov V., Porfir'eva E., Davydov R. // Russian Journal of Nondestructive Testing, **58**, N 9, 847. (2022).
- [13] Bataille B., Bertuit M., Mora M. et. al. // British Journal of Anaesthesia, **109**, N 6, 879. (2015).

- [14] *Biais M., Berthezune R., Petit L.* et. al. // British Journal of Anaesthesia, **115**, N 3, 403. (2021).
[15] *Zaitceva A., Mazing M., Akacevich P.* et. al. // Journal of Pharmaceutical Negative Results, **13**, N 1, 6. (2022).
[16] *Dhonneur G.* // British Journal of Anaesthesia, **110**, N 1, 137. (2016).
[17] *Permpikul G., Leelayuthachai T.* // Journal Medical Association Thai. **97**, N 3, 184. (2018).

Features of the use of esCCO technology for the diagnosis of human condition

E.V. Porfirieva^a, V.V. Davydov

*Institute of electronics and telecommunications, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
St. Petersburg, 194064, Russia*

E-mail: porfirieva.ev@edu.spbstu.ru

This article substantiates in detail the need to expand the use of esCCO technology in order to determine the state of human health, especially when he is in critical condition or close to it. In such situations, getting information about cardiac output quickly and accurately is an important factor for doctors to make decisions and ensure optimal medical care. The advantage of esCCO technology is its ability to provide the necessary information in a shorter period of time than using other methods. This allows doctors to quickly assess changes in cardiac output and take appropriate measures to normalize the patient's condition. The article also discusses the features of using esCCO technology to determine the state of human health in various situations where changes in cardiac output play a key role. Examples of recording various parameters necessary for calculating cardiac output using the esCCO method were presented, as well as experimental data demonstrating changes in cardiac output over time. Expanding the use of esCCO technology in medical practice is an important step in the development of modern medicine aimed at improving the efficiency and quality of medical care.

PACS: 87.80.7y.

Keywords: human condition, cardiovascular system, cardiac output, vital parameters.

Received 30 May 2023.

Сведения об авторах

1. Порфирьева Елена Витальевна — студентка; e-mail: porfirieva.ev@edu.spbstu.ru.
2. Давыдов Вадим Владимирович — профессор; тел.: (812) 249-44-14, e-mail: davydov_vadim66@mail.ru.