

УДК 621.317.7

Є.В. Маловічко, магістрант гр. ПВ-01мп, к.т.н. Щербань А.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ НАСИЧЕННЯ КРОВІ КИСНЕМ

Анотація. Наведено принцип роботи систем вимірювання насичення киснем крові. Наведені основні поняття пульсоксиметрії, розглянуто їх тлумачення. Приведені залежності отриманого сигналу від серцевого циклу, показана формула та виведення цих залежностей. Показаний закон яким описується принцип роботи систем пульсоксиметрії.

Ключові слова: Пульсоксиметр, пульсоксиметрія, сатурація, насичення крові киснем, серцевий цикл.

ВСТУП

Важливіша людська потреба – це кисень, без кисню людина може прожити в середньому не більше 5-7 хвилин. Увесь наш організм заточений на використанні кисню в свої роботі, тому так важливо стежити та контролювати постачання кисню до організму, та його концентрацію. Надходження кисню до нашого організму починається з вдиху, тобто з дихання. Дихання – це процес, який забезпечує надходження в організм людини кисню, використання його в окиснювальних процесах і видалення з організму вуглекислого газу. Насичення крові киснем є важливою характеристикою, та може вважатись показником загального стану організму.

Показник сатурації, який отримують шляхом пульсоксиметрії, використовують при багатьох різних ситуаціях. Пульсоксиметрія корисна в будь-яких умовах, де оксигенація пацієнта нестабільна, включаючи відділення інтенсивної терапії, операції, відновлення, невідкладну допомогу та відділення лікарні, пілотів у літаках, для оцінки оксигенації будь-якого пацієнта та визначення потреби в додатковому кисні.

Протягом останнього десятиліття пульсоксиметрія стала практикою, яка стрімко розвивається в багатьох областях клінічної медицини, включаючи швидку та довготривалу допомогу. Незалежно від того, чи використовується як запобіжний засіб, чи як діагностичний інструмент, цей метод широко визнаний одним з найважливіших технологічних досягнень у моніторингу стану пацієнтів.[4]

МЕТА РОБОТИ

Головною метою роботи – є дослідження принципу роботи систем/приладів для визначення насичення крові киснем з подальшою розробкою шляхів покращення та вдосконалення таких рішень.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пульсоксиметр – медичний контрольно-діагностичний прилад або система для неінвазивного вимірювання рівня насичення киснем капілярної крові. Робота пульсоксиметра заснована на здатності гемоглобіну, пов'язаного (HbO_2) та не пов'язаного (Hb) з киснем, абсорбувати світло різної довжини хвилі. Оксигенований гемоглобін більше абсорбує інфрачервоне світло(940 нм довжина хвилі), деоксигенований гемоглобін більше абсорбує червоне

світло(640 нм довжина хвилі). У пульсоксиметрів встановлені два світлодіоди, що випромінюють червоне та інфрачервоне світло. Сатурація розраховується як співвідношення кількості HbO₂ до загальної кількості гемоглобіну, виражене у відсотках, за формулою (1):[2]

$$SpO_2 = \left(\frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Де,

HbO₂ = оксигенований гемоглобін (пов'язаний з киснем),

Hb = деоксигенований гемоглобін (не пов'язаний з киснем).

Після надходження світла на фотодіод потрібен алгоритм для того щоб опрацювати дані та на їх основі видати значення сатурації, для цього нам треба зрозуміти що отримані дані показують насичення артеріальної крові(саме насичення артеріальної крові береться за значення сатурації, та відображається як SpO₂). Здатність пульсоксиметра визначати SpO₂ артеріальної крові заснована на принципі, що кількість поглиненого червоного та інфрачервоного світла коливається в залежності від серцевого циклу, оскільки обсяг артеріальної крові збільшується під час систоли та зменшується під час діастолі; на відміну від цього, об'єм крові в венах і капілярах, а також об'єм шкіри, жиру, кісток і т.д. залишаються відносно незмінними. Частина світла яка проходить через тканини не поглинаючись, потрапляє на фотодетектор датчика та, відповідно, створює сигнали з відносно стабільним та непульсуючим компонентом "постійного струму" (DC) і компонентом пульсуючим "змінним струмом" (AC) (Рис. 1.3А). Схема поперечного перерізу артерії і вени під час систоли та діастолі ілюструє непульсуючий (DC) та пульсуючий (AC) відділи артерій та відносну відсутність зміни обсягу у венах та капілярах (рис. 1.3В).[1]

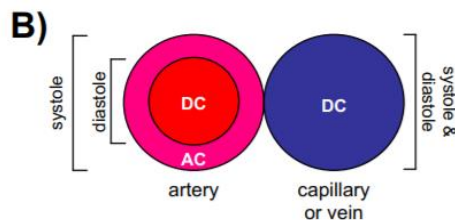


Рисунок 1.3В. Схема перерізу артерії і вени під час серцевого циклу

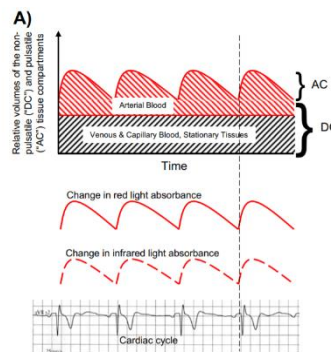


Рисунок 1.3А. Відносні об'єми непульсуючих («DC») і пульсуючих («AC») відділів тканин

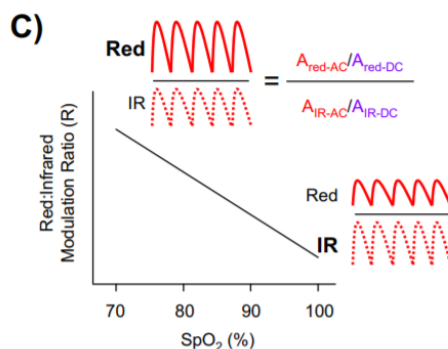


Рисунок 1.3С. Діаграма калібрувальної кривої.

$$R = (A_{red,AC}/A_{red,DC}) / (A_{IR,AC}/A_{IR,DC}) \quad (2)$$

де, A = поглинання,

$(A_{red,AC}/A_{red,DC})$ = відношення поглинання червоного світла пульсуючим та непульсуючим компонентом,

$(A_{IR,AC}/A_{IR,DC})$ = відношення поглинання інфрачервоного світла пульсуючим та непульсуючим компонентом.

Іншими словами, коефіцієнт R , залежність якого продемонстрована на графіку (Рис. 1.3С), та виводиться за допомогою формули (2) – це подвійне відношення пульсуючого та непульсуючого компонентів поглинання червоного до компонентів поглинання інфрачервоного світла. При низькому рівні артеріальної сатурації, коли збільшена кількість деоксигемоглобіну, відносна зміна в амплітуді поглинання червоного світла за рахунок пульсу більше, ніж інфрачервоного поглинання, тобто $A_{red,AC} > A_{IR,AC}$ що призводить до більш високого значення R ; навпаки, при більш високому насиченні киснем, $A_{IR,AC} > A_{red,AC}$ і значення R нижче. Мікропроцесор в пульсоксиметрі використовує цей коефіцієнт для визначення SpO_2 базованого на калібрувальній кривій, яка емпірично побудована шляхом вимірювання коефіцієнту R у здорових добровольців, у яких сатурація була змінена від 100% до приблизно 70%. Таким чином показники вимірної сатурації нижче за 70% не повинні використовуватись як дані що можуть відображати реальний стан пацієнтах.[1]

Як пульсоксиметри виключають вплив венозної і капілярної крові та інші нерухомих тканини з розрахунку SpO_2 можна концептуально зрозуміти, дослідивши закон поглинання Бугера-Ламберта-Бера.[1]

Потенційна можливість виникнення похибок закладена як у принципі вимірювання SpO_2 і частоти пульсу, так і у його технічної реалізації. Шкода, яку вони завдають в операційних та палатах інтенсивної терапії, досить серйозна: хибна інформація іноді призводить до ухвалення неправильних рішень; часта необґрунтована активація тривоги знижує довіру медперсоналу до методу загалом; на неспокійний монітор перестають звертати увагу, і поява реальної небезпеки залишається непоміченою; часта хибна активація системи сповіщення

провокує погане, але цілком природне бажання відключити систему (що у часто і робиться) [3].

Спеціальні дослідження, виконані за кордоном, показали, що пульсоксиметри є джерелом більше половини всіх тривожних звукових сигналів, що лунають у стандартно обладнаних відділеннях інтенсивної терапії. При цьому в 95% випадків причиною активації тривоги пульсоксиметра є не реальна небезпека, а артефакти (покази монітора, які обумовлені не справжніми значеннями параметрів, а дією сторонніх факторів) або неправильне налаштування системи. Приблизно у 60% випадків персонал відключає її, не намагаючись розібратися у тому, чому відбулося спрацювання. З одного боку, це проблема поведінки людини в атмосфері, яка перенасичена технологіями, з іншого - явний натяк розробникам приладів для моніторингу.[3]

ВИСНОВОК

У статті описаний метод та принц за яким працюють пульсоксиметри, та яким чином такі прилади/системи можуть з великою точністю без інвазійного втручання виміряти сатурацію крові. В роботі представлені графіки та формули описуючі роботу пульсоксиметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. // Respiratory Medicine. – 2013. – №107. – С. 788–799.
- [2]Компьютерная пульсоксиметрия в диагностике нарушений дыхания во сне [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sleepnet.ru/wordpress/wp-content/uploads/2019/06/Kompyuternaya-pulsoksimetriya.pdf>.
- [3]Шурыгин И.А.Мониторинг\ дыхания: пульсоксиметрия, капнография,оксиметрия.\ И.А.Шурыгин.– СПб: Невский Диалект, 2000. – 301 с.
- [4]Mendelson Y. Pulse Oximetry / Mendelson. // Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. – 2006.

Наук. керівник – к.т.н. Щербань А.П.