

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*S. Lukash, M. Budnik, Yu. Frolov,
L. Vakal, L. Lukash*

A DEVICE FOR EXTERNAL RESPIRATION DIAGNOSTICS

A device for external respiration diagnostics is proposed. This device allows to measure characteristics of the respiratory system in real time.

Key words: marker gases of respiration alveolar air.

Предложен прибор для диагностики внешнего дыхания, позволяющий в реальном времени измерять характеристики респираторной системы.

Ключевые слова: маркерные газы дыхания, альвеолярный воздух.

Запропоновано прилад для діагностики зовнішнього дихання, який дозволяє у реальному часі вимірювати характеристики респираторної системи.

Ключові слова: маркерні гази дихання, альвеолярне повітря.

© С.І. Лукаш, М.М. Будник,
Ю.О. Фролов, Л.П. Вакал,
Л.Л. Лукаш, 2016

УДК 53.08; 004.42

С.І. ЛУКАШ, М.М. БУДНИК, Ю.О. ФРОЛОВ,
Л.П. ВАКАЛ, Л.Л. ЛУКАШ

ПРИЛАД ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ

Вступ. Проблеми ранньої й повної діагностики стану здоров'я людини були і залишаються актуальними. Вирішення цих проблем стає більш успішним при застосуванні нових діагностичних приладів та інформаційних технологій. Одним з неінвазивних способів діагностики є аналіз складу видихуваного повітря, яке представляє собою суміш газів різного ендогенного походження з дихальних шляхів, шлункового каналу й ротової порожнини. Компоненти цієї суміші можуть служити маркерами певних станів організму людини. Методи аналізу видихуваного повітря на наявність маркерних газів, а також питання апаратури та методик визначення процентного вмісту кожного газу розглянуто в роботах [1, 2].

Для нормального перебігу обмінних процесів в організмі людини потрібно як постійне надходження кисню O_2 , так і неперервне видалення вуглекислого газу CO_2 , що накопичується в ході обміну речовин. Кисень, який надходить до тканин, використовується в клітинних окислювальних процесах, що протікають на субклітинному рівні за участю специфічних ферментів, розташованих на внутрішній стороні мембран мітохондрій. Газообмін критично залежить від оптимального співвідношення вентиляції та перфузії. Дослідження газообміну вимагає визначення кількості газів в артеріальній крові. Фактичний вміст кисню в крові визначається як парціальним тиском кисню, так і вмістом його в гемоглобіні. Для нормального протікання окислювальних обмінних процесів у клітинах необхідно, щоб напруга кисню в області мітохондрій була не менше $0,1 - 1$ мм рт. ст. ($13,3 - 133,3$ кПа).

Гуморальна регуляція дихання відбувається через вміст вуглекислого газу в крові. Якщо в крові, що омиває дихальний центр, є надлишок CO_2 , тоді збудливість дихального центру зростає і дихання стає частим і глибоким. Якщо CO_2 в крові мало, то це викликає гальмування дихання. Співвідношення виробленого CO_2 і спожитого O_2 , зазвичай становить 0,8.

В клінічних дослідженнях вкрай важливою є експрес-діагностика гострих захворювань за показниками концентрації газів у видихуваному повітрі. Парціальний тиск вуглекислого газу в артеріальній крові є найважливішим показником, що характеризує вентиляційно-перфузійні співвідношення і дозволяє судити про адекватність проведеної штучної вентиляції легень.

Для вимірювання основних параметрів респіраторної системи людини створено автоматизований програмно-апаратний комплекс (ПАК) та розроблено програмне забезпечення для обробки й аналізу отриманих даних з метою оцінки стану здоров'я людини в реальному часі. Прилад дозволяє визначати фракційні концентрації основних маркерних газів видиху, максимальну вентиляцію легень, життєву ємність легень та деякі інші спірографічні параметри, а також обчислювати коефіцієнт основного обміну. На основі аналізу отриманих даних можлива діагностика функціонального стану організму людини та експертна оцінка патології.

Технічні характеристики блоків і модулів приладу. До складу пристрою «Автоматизований програмно-апаратний комплекс для оцінки стану здоров'я людини» входять блоки та модулі, що забезпечують оптимальну функціональність пристрою. Сенсорний блок має інтегрований мікроконтролер і призначений для комутації підключених інших блоків або модулів, попередньої обробки сигналів, що надходять від сенсорних модулів, видачі технічної інформації на дисплей та організації зв'язку з віддаленим сервером за допомогою модуля блютуз. На рис. 1 показано зразки модулів з різними давачами, що застосовуються при визначенні концентрацій газів (кисню, діоксиду та монооксиду вуглецю, парів етанолу, ацетону), температури, вологості та швидкості потоку повітря.

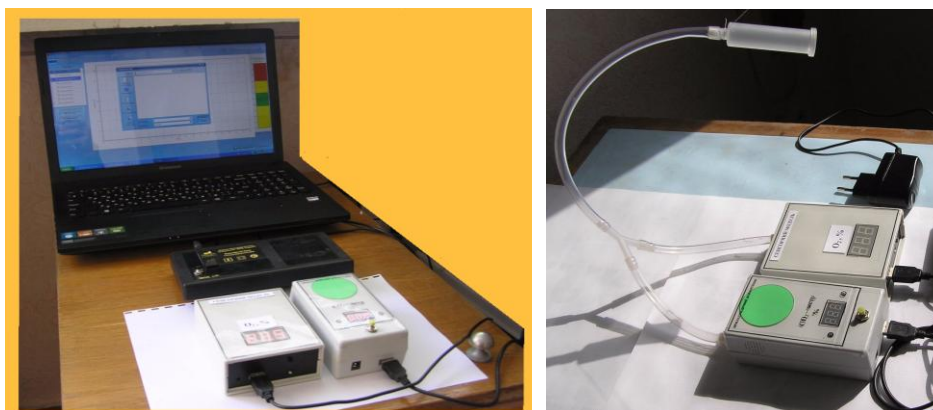


РИС. 1. ПАК та додаткові модулі для виміру різних параметрів

Опис приладу. Цінність і перевага розробленого приладу полягає у тому, що в ньому застосовано високочутливі електрохімічні давачі газів кисню, монооксида та діоксиду вуглецю, давачі потоків газів з малим часом відгуку. Для реєстрації концентрації вуглекислого газу застосована методика бокового потоку (sidestream-капнометрія). Проби газу альвеолярного повітря видиху надходять по боковому пневмопроводу до модуля, в який вбудовано давач газу CO_2 з інтелектуальним інтерфейсом і технологічно сумісний з радіоелектронними засобами обробки даних. Одночасно в прямому потоці (mainstream) відповідними модулями реєструються газ O_2 та деякі інші параметри спірографії.

Такий підхід до проблеми вимірювання концентрації CO_2 дає цілий ряд дуже істотних переваг перед методом mainstream-капнометрії, найголовніша з яких – можливість одночасного визначення концентрації декількох газів в одній пробі. Відкачування пробного газу може виконуватись у пасивному або активному режимі і при sidestream-капнометрії точність виміру обумовлена часом відгуку давача. Зазначимо, що використання методу sidestream-капнометрії у новонароджених і дітей потребує розробки специфічної методики. Існує технологія малопоточного визначення CO_2 із бокового потоку – Microstream, що дає змогу використати її в неонатальній практиці.

Стало також можливим проводити моніторинг у неінтубованих пацієнтів без додаткового обладнання (адаптер між трійником і маскою, спеціальні маски, канюлі для носа). Використання набору різноманітних легких адаптерів для різних клінічних ситуацій і для різних вікових категорій пацієнтів коштує на кілька порядків дешевше, ніж придбання комплекту дорогих mainstream-датчиків на всі випадки життя. Кожний з модулів може працювати автономно і при заміні конфігурації пневматичного обладнання може вирішувати інші практичні задачі, наприклад, визначення загазованості робочих кімнат або регулювання концентрації/температури/вологості в приміщенні.

Передача даних виконується за допомогою бездротового зв'язку за технологією Bluetooth. Обробка, оцінка та візуалізація отриманих даних відбуваються в режимі реального часу за допомогою програмного забезпечення (ПЗ), встановленого на ноутбучі. Застосування нелінійного динамічного моделювання в задачі фільтрації результатів вимірювань та моделювання процесу дозволило розробити програму для обробки даних, отриманих від давачів. Зашумлені дані, а також частково неповні дані, корегуються інтерфейсною програмою, яка входить до складу ПЗ апаратно-програмного комплексу [3, 4].

Об'єм видихуваного повітря є сумою об'ємів повітря мертвого простору і альвеолярного повітря. На рис. 2 показано зміну концентрації кисню та вуглекислого газу в процесі одного видиху. Перша порція повітря (повітря мертвого простору дихальних шляхів) є типовим зволженим повітрям з концентрацією кисню, яка близька до тієї, що має повітря кімнати, де знаходиться людина. У наступних порціях до повітря мертвого простору домішується все більша кількість альвеолярного повітря, збільшуючи концентрацію вуглекислого газу. Давач CO_2 починає реєструвати його зростаючу концентрацію. В кінці видиху виходить тільки альвеолярне повітря. Тому для більш достовірного виміру можна

просто зібрати останню порцію повітря, що виходить після форсованого видиху. При нормальному видиху, коли повітря надходить поступово як з мертвого простору, так і з альвеол, значення концентрації знаходяться в діапазоні між показниками складу альвеолярного повітря і зволоженого атмосферного повітря.

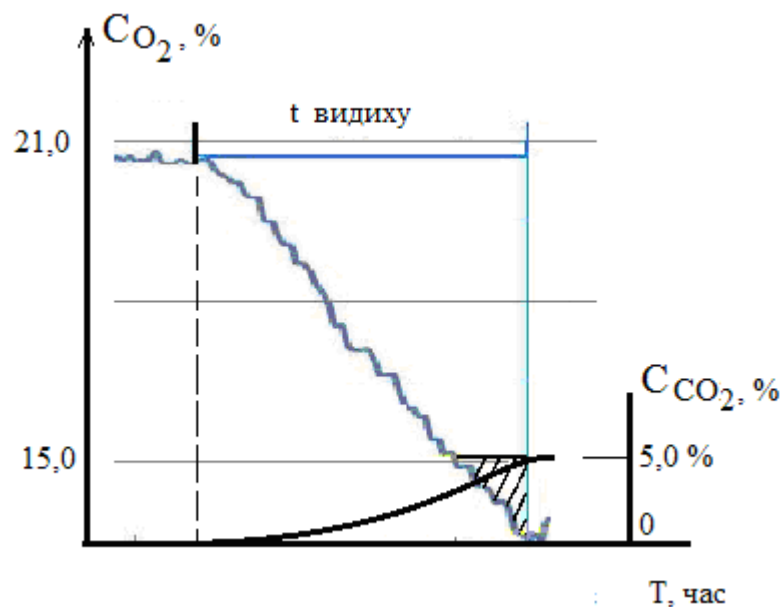


РИС. 2. Зміна концентрації кисню та вуглекислого газу в пробі видиху

Ефективність зовнішнього дихання може бути різною навіть при одних і тих же значеннях показників вентиляції легень. Причиною цього може бути зміна вентиляції «мертвого» простору. Так, при поверхневому частому диханні (наприклад, при циркуляторному шоці) з об'ємом вдих/видих 0,2 л і частотою дихання 35 1/хв. вдихуване повітря буде вентилявати переважно дихальні шляхи та в меншій мірі буде оновлювати альвеолярну суміш газів. Результатом цього може стати суттєва для здоров'я людини зміна об'ємних парціальних часток газів в альвеолярній суміші. Для однакових значень вентиляції легень, чим глибше дихання, тим краще вентиляція легеневих ацинусів.

Основні технічні характеристики приладу є такими:

- концентрація основних маркерних газів, об. %: O₂ – від 0 до 21,0, CO₂ – від 0 до 5,00, CO – від 0 до 1,00;
- температура, °C, 20 – 40;
- вологість, відн. %, 40 – 100;
- частота дихальних рухів, 1/хв., 1 – 40;
- тривалість одного виміру, с, 10 – 60;
- об'єм альвеолярної суміші газів, см³, 20 – 150;
- життєва ємність легень, см³, до 3000;

- одночасне визначення концентрації декількох газів в одній пробі;
- можливість автономної роботи модулів.

За певних умов концентрації газів O_2 і CO_2 у видихуваному повітрі можуть змінюватися на декілька відсотків. Наприклад, при фізичних навантаженнях, коли м'язи виконують посилену роботу, кількість CO_2 у крові зростає до 6,5 % . Це стає однією з причин поглиблення і посилення дихальних рухів. Зазначимо, що прилади дозволяють вимірювати поглинання кисню й виділення вуглекислого газу не тільки в спокої, але й при фізичному навантаженні, що надає додаткову інформацію про функціональний стан легень [5].

Прилад пройшов державну сертифікацію по газам O_2 і CO_2 (свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 12–13709 від 29.07.2014 р., № 12–14632 від 25.11.2015). Експериментальні зразки приладу «Мультигазоаналізатор» були виготовлені на НВП «МЕТЕКОЛ». Портативні зразки можуть функціонувати як в стаціонарних, так і в польових умовах.

Висновки. Газы, що входять до складу видихуваного повітря, є маркерами певних станів організму людини. Це дає змогу розробляти неінвазивні методи та відповідні прилади для діагностики різноманітних захворювань. Запропоновано автоматизований програмно-апаратний комплекс для вимірювання концентрації основних маркерних газів видихуваного повітря, а також низки інших важливих параметрів респіраторної системи людини. Його основними перевагами є простота методики, низька собівартість, неінвазивність, використання високочутливих електрохімічних датчиків газів з малим часом відгуку. одночасне визначення концентрації декількох газів в одній пробі, отримання результатів досліджень у режимі реального часу.

1. *Ястребов Ю.В.* Способ определения физической работоспособности человека. Патент РФ № 2 377 952 (БИ № 1 от 10.01.2010).
2. *Лукаш С.І., Вакал Л.П.* Розробка методики вимірів маркерних газів у повітрі дихання. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи.* 2012. № 11. С. 83–90.
3. *Вакал Л.П., Каленчук-Порханова А.О.* Аналітична обробка даних на основі чебишовської апроксимації. *Математичні машини і системи.* 2006. № 2. С. 15–24.
4. *Каленчук-Порханова А.А., Вакал Л.П.* Пакет програм апроксимации функций. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи.* 2008. № 7. С. 32–38.
5. *Лукаш С.І.* Разработка методики измерения CO_2 в выдыхаемом воздухе. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи.* 2011. № 10. С. 119–125.

Одержано 18.05.2016