

М.І. ХОДАКОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
nhodak@ukr.net,

М.М. БУДНИК, гол. наук. співроб.,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
budnyk@meta.ua

Т.А. КОБЗАР, канд. мед. наук, ст. наук. співроб.,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН та МОН України, просп. Глушкова, 40, Київ 03187, Україна,
kobzarta@ukr.net

Т.В. КРЯЧОК, мол. наук. співроб.,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН та МОН України, просп. Глушкова, 40, Київ 03187, Україна,
kondratyktanya@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ СКЛАДУ ПОВІТРЯ ПРИ ДИХАННІ ЛЮДИНИ

Розроблено методіку неінвазивного визначення коефіцієнта газообміну за допомогою мультисенсорного газоаналізатора. Розглянуто особливості вимірювання складових газової суміші, яка видихається людиною та показано метод розрахунку показників стану дихальної системи при вимірах для своєчасного виявлення відхилень в системі газообміну.

***Ключові слова:** мультисенсорний газоаналізатор, коефіцієнт газообміну, аналіз газової суміші видиху людини, показники дихання людини.*

Вступ

В організм людини надходить кисень (O_2), який споживається усіма органами та тканинами, а виводиться вуглекислий газ (CO_2) та незначний обсяг інших газоподібних продуктів метаболізму. Газообмін є необхідним атрибутом життєдіяльності майже всіх організмів, без нього неможливий нормальний обмін речовин, існування енергії, так само, як і життя [1].

Кисень, який надходить до тканин, бере участь у прикінцевому окисленні продуктів, які утворюються в результаті довгого ланцюга хімічних перетворень вуглеводів, жирів та білків. При цьому утворюються CO_2 , вода, азотисті сполуки, а також звільняється енергія, яка використовується для підтримання температури тіла і виконання роботи. Кількість вуглекислого газу, що утворюється в організмі та виділяється з нього, насамкінець залежить не

лише від обсягу спожитого O_2 , а й від того, які речовини підлягали окисленню — вуглеводи, жири чи білки [2].

Щоб з'ясувати, які речовини окислюються в організмі, визначають дихальний коефіцієнт (ДК) — відношення об'єму вуглекислого газу, що виділяється з організму, до поглинутого за той же час об'єму кисню. При окисленні жирів він складає приблизно 0,7; при окисленні білків — 0,8; при окисленні вуглеводів — 1,0 (у людини при змішаній їжі ДК дорівнює 0,85–0,90) [3].

Оскільки ДК показує відношення обсягу виділеного з організму (органа, тканини) CO_2 до обсягу спожитого за цей же час O_2 , то його прийнято визначати як відношення різниці між вмістом (у відсотках) вуглекислого газу у венозній і артеріальній крові до різниці між вмістом кисню в артеріальній і венозній крові [1]:

$$DK = \frac{CO_{2вен} - CO_{2арт}}{O_{2арт} - O_{2вен}}, \quad (1)$$

де $CO_{2вен}$ — вміст вуглекислого газу в венозній крові, $CO_{2арт}$ — вміст вуглекислого газу в артеріальній крові, $O_{2арт}$ — вміст кисню в артеріальній крові, $O_{2вен}$ — вміст кисню у венозній крові.

Цей важливий при вивченні особливостей газообміну та обміну речовин і енергії у людини параметр має таке ж велике значення і при дослідженні функції зовнішнього дихання. До багатьох розрахункових формул, запропонованих для визначення складу альвеолярного повітря, входить величина ДК [4].

Постановка задачі

Створити інтегровану ІТ для неінвазивного визначення коефіцієнта газообміну (КГО) за допомогою мультисенсорного газоаналізатора (МГА). Протестувати МГА для виявлення його спроможності здійснювати оцінку дихання.

Використання ДК як маркера енерговитрат в організмі людини

Оскільки між величиною ДК і відношенням кількості альвеолярного повітря до капілярного існує певна залежність, то за допомогою

ДК можна оцінити рівень вентиляційно-перфузійних зв'язків. Вентиляційно-перфузійним відношенням (ВПВ) називають відношення обсягу вентиляції до обсягу кровотоку в будь-якій ділянці легенів. Іншими словами, ВПВ показує кількість повітря, що одночасно контактує з певною кількістю крові в легенях. У нормі загальне ВПВ складає 0,8, тобто в любий момент часу в легенях в середньому 4 мл повітря контактує з 5 мл крові. Встановлено, що величини ДК для повітря, що видихається з верхніх і нижніх ділянок легень, істотно різні внаслідок відмінностей їх ВПВ. У людини ДК коливається в межах від 0,7 до одиниці [5].

ДК залежить від енерговитрат, які виражаються теплотвірним еквівалентом кисню. Для визначення величини енерговитрат необхідно знати: кількість спожитого кисню за одиницю часу і кількість енергії, що мала утворитися в організмі при утилізації 1л O_2 — теплотвірний, або калоричний еквівалент кисню (КЕК). Величина КЕК змінна, тобто утилізація однакової кількості кисню (1 л) приводить до утворення різної кількості енергії: трохи більше 5 ккал, якщо в якості субстрата окислення виступають лише вуглеводи; 4,6–4,7 ккал — якщо окислюються жири; і 4,5–4,6 ккал при окисленні білків.

Оскільки окислення всіх трьох названих компонентів відбувається одночасно, необхідно знати, в якому співвідношенні вони окислюються в даний момент. Для цього визначають ДК через відношення об'ємів виділеного вуглекислого газу і поглинутого за той же час кисню [6]:

$$DK = V_{CO_2} / V_{O_2}. \quad (2)$$

Відносна сталість дихального коефіцієнта (0,82–0,90) при звичайному харчуванні дозволяє досить точно визначати енергетичний обмін людини у стані спокою шляхом обчислень, беручи до уваги тільки кількість спожитого кисню та його калоричний еквівалент при усередненому дихальному коефіцієнті. Кількість спожитого організмом кисню досліджується спірографами різного типу.

Отже, визначивши кількість спожитого кисню і прийнявши усереднений дихальний коефіцієнт 0,85, можна розрахувати енергоутворення

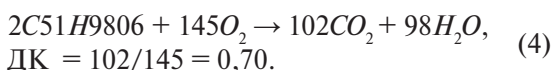
в організмі. Калоричний еквівалент 1 л кисню при даному дихальному коефіцієнті дорівнює 20,356 кДж, тобто 4,862 ккал. Такий метод — неповного газоаналізу, завдяки своїй простоті і зручності, набув широкого поширення [6].

За умови, що окислюються виключно вуглеводи, кількість молекул кисню, поглинутих за одиницю часу, дорівнювала б кількості утворених молекул вуглекислого газу, наприклад:



Однакові кількості молекул газу займають однакові об'єми, тобто, при окисленні вуглеводів $V_{CO_2} = V_{O_2}$, а ДК = 1. У процесі окислення білків частина поглинутого кисню, окрім видихуваного повітря, виводиться з сечею, утворюючи сполуки з азотом. У цьому випадку ДК стає менше одиниці (приблизно 0,81).

При окисленні жирів (наприклад, трипальмітину):



Проте, якщо протягом декількох тижнів годувати людину виключно жирами, ДК не знизиться до 0,70. Аналогічно, якщо людина буде споживати чисту глюкозу, ДК не підвищиться до одиниці, а лише до 0,87. Це пояснюється одночасною участю вуглеводів, жирів і білків у процесі окислення. Якщо в їжі відсутні якісь компоненти, вони мобілізуються з власних запасів організму. Тому ДК зазвичай відповідає середньому значенню (приблизно 0,82).

ДК показує, в якому співвідношенні беруть участь в окисленні вуглеводи, жири і білки на даний момент часу. Тому до ДК «жорстко прив'язаний» КЕК, коли певному значенню ДК відповідає своя величина КЕК (табл. 1) [6].

При змішаному харчуванні КЕК дорівнює приблизно 4,83 ккал/л O_2 . Цією величиною

Таблиця 1. ДК і калоричний еквівалент кисню (КЕК, ккал/л O_2)

ДК	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
КЕК	4,69	4,74	4,80	4,86	4,92	4,98	5,05

користуються для орієнтовних розрахунків, без залучення експериментального способу визначення ДК.

При виконанні людиною важкої фізичної роботи в м'язах накопичується молочна кислота, яка витісняє з крові підвищену кількість CO_2 , в результаті виділення CO_2 наростає швидше, ніж поглинання O_2 . ДК поступово прямує до одиниці, а потім і перевищує це значення. ДК = 1,12 свідчить про суттєвий ацидоз і про те, що незабаром людина буде змушена припинити роботу.

При окисленні вуглеводів на 1 моль спожитого кисню в організмі утворюється 1 моль вуглекислого газу, оскільки весь спожитий з вдихуваного повітря кисень, зрештою, йде тільки на окислення вуглецю, що входить до складу вуглеводів, а окислення водню до води забезпечується наявним в молекулі вуглеводу киснем. Грам-молекули різних газів (в даному випадку кисню і вуглекислого газу) за однакових показників тиску і температури займають однакові об'єми, тому при окисленні вуглеводів ДК = 1 [7].

При окисленні жирів, в молекулі яких міститься багато атомів водню і мало атомів кисню, використання кисню кількісно пов'язане ще й з утворенням води за рахунок водню, що міститься в жирах. В результаті обсяг вуглекислого газу, що утворюється в організмі (і виділяється) при дисиміляції жирів менше обсягу спожитого кисню. При окисленні жирів ДК дорівнює 0,70–0,72. При окисленні білків, де окрім води і вуглекислого газу, утворюються ще й азотовмісні сполуки, які виділяються переважно з сечею, ДК складає 0,80–0,82.

Кількість білків, що окислюються в організмі, можна визначити за кількістю виведених з сечею азотистих продуктів їх розпаду. З огляду на цю величину (в наближених розрахунках нею можна знехтувати), за ДК визначають ступінь участі в дисиміляції жирів і вуглеводів. Якщо до раціону входять вуглеводи, жири і білки, ДК коливається в межах 0,8 – 0,9. При переважанні вуглеводного харчування ДК складає 0,9 – 1 ; при надмірному споживанні

вуглеводів і їх частковому переході в організмі в жири ДК може сягати 1,2 – 1,4.

Враховуючи наведені особливості визначення ДК та його взаємозв'язку з КЕК, слід уважно підходити до вибору типу харчування при призначенні курсу лікування різних захворювань, оскільки величина ДК дозволяє оцінити рівень вентиляційно-перфузійних зв'язків. При наявності відхилень показника ВПВ від норми, його коригування досягається за допомогою призначення спеціальних дієт.

Недоліки методів інвазивного визначення вмісту кисню і вуглекислого газу в крові людини. Предметом найбільшого інтересу лікарів є вміст кисню і вуглекислого газу, оскільки саме ці гази є індикаторами здатності організму до повноцінного дихання. Газовий склад крові вважається одним із основних показників гомеостазу організму. Існують певні медичні показання, зокрема в екстрених випадках, коли є потреба в проведенні аналізу на газовий склад крові, який зазвичай проводиться в умовах стаціонару. Таке дослідження дозволяє лікарю встановити точний діагноз і оцінити ефективність проведеної терапії.

При проведенні аналізу на газовий склад артеріальної крові лікарів цікавить не стільки об'ємний вміст газів, як їх парціальний тиск. Парціальний тиск газів — це тиск, при якому в крові починається розчинення газів. Це означає, наприклад, що при даному тиску кисень ефективно працює в організмі. Якщо ж парціальний тиск кисню відхиляється від нормальних показників, то це може свідчити про наявність певних захворювань, що сприяють такій зміні. Іншими словами, в організмі є якась патологія, яка заважає тканинам ефективно використовувати кисень.

Неінвазивна оцінка ДК за допомогою газоаналітичних вимірювань

Існуюча методика дослідження газообміну сама по собі може істотно змінювати вентиляцію як в бік її підвищення, так і зниження. Тому величину ДК, визначену в процесі корот-

кочасних клінічних обстежень, не можна вважати достовірною. Можливості дослідження газообміну за допомогою сучасної апаратури обмежені визначенням поглинутого кисню та виділеного вуглекислого газу при розрахунку основного обміну з умовно прийнятою його середньою величиною 0,82–0,85.

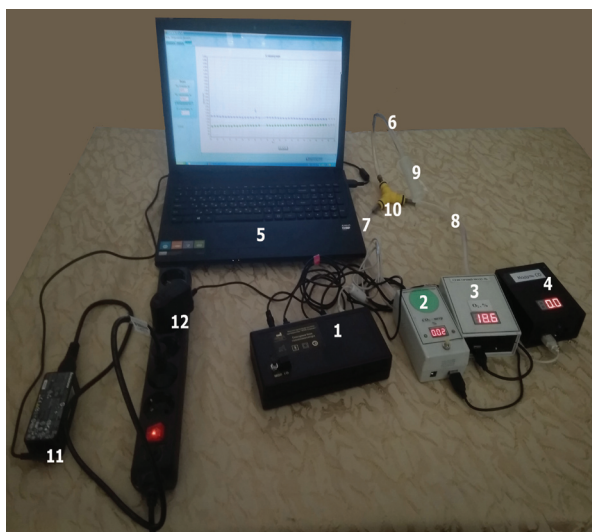
Так, при порушеннях вуглеводного чи жирового обміну ДК коливається від 0,5 до 1; різні величини ДК спостерігаються при тиреотоксикозі і вагітності. Відмінності ДК при серцевій недостатності, ймовірно, пов'язані зі змінами вентиляції. ДК при визначенні основного обміну майже в 100 відсотках випадків не виходить за межі 0,74 – 0,9, тобто практично слід вважати, що значення ДК, які виходять за межі вказаного діапазону, є результатом методичних похибок і не відображають адекватно окислювальні процеси в організмі.

Для об'єктивної оцінки показників дихання було запропоновано визначення кількісного складу видихуваної газової суміші за допомогою мультисенсорного газоаналізатора (МГА) (рис.1,а). Цей метод є неінвазивним і дозволяє оцінити стан здоров'я людини, розрахувавши за формулою (5) співвідношення вмісту кисню і вуглекислого газу у повітряній суміші видиху [2]:

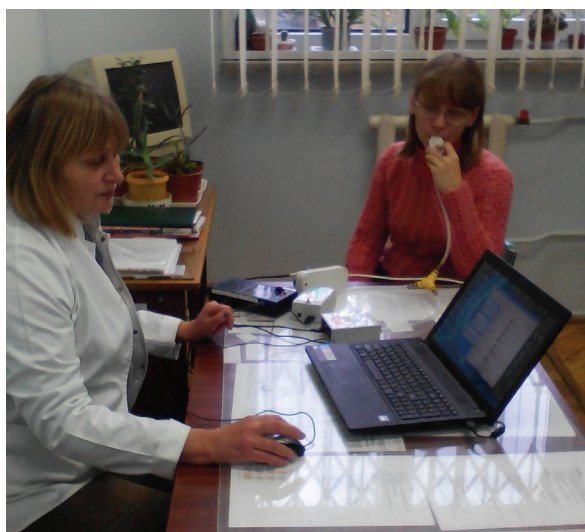
$$\text{КГО} = \frac{C_{CO_2}}{C_{O_2p} - C_{O_2v}}, \quad (5)$$

де C_{CO_2} — концентрація CO_2 в повітряній суміші видиху у відсотках; C_{O_2p} та C_{O_2v} — концентрація у відсотках кисню в повітрі, що вдихається та видихається. За даними вимірювань груп пацієнтів можна розрахувати КГО за формулою (2) та отримати інформацію про стан системи дихання та організму в цілому.

МГА — це неінвазивний медичний прилад, призначений для діагностики стану здоров'я людини на основі кількісного аналізу газів, що видихаються [8, 9]. За допомогою приладу можна визначити концентрацію кисню, вуглекислого та чадного газу. Він виготовлений на сучасній елементній базі, простий і зручний у застосуванні [10], містить мікроконтролер та через безпроводний інтерфейс Блутуз



а



б

Рис. 1. Визначення коефіцієнта газообміну

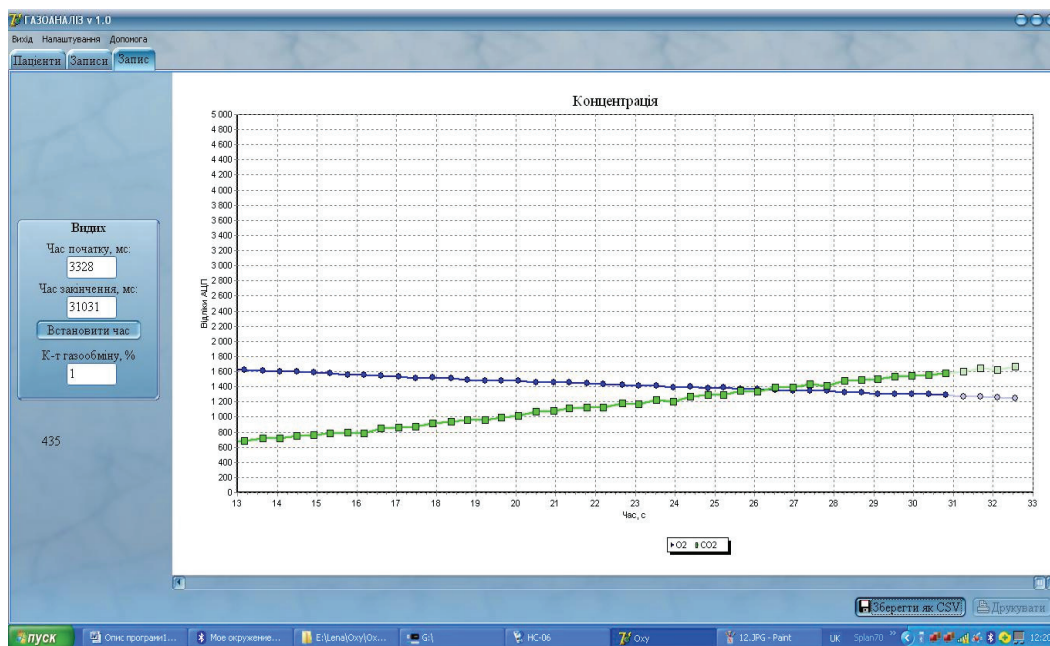


Рис. 2. Графік видиху людини при вимірюванні

з'єднується з ноутбуком. ПЗ містить такі основні модулі: ініціалізації СОМ-порту, модуль зчитування даних з СОМ-порту, модуль попередньої обробки даних, модуль візуалізації, модуль збереження даних, модуль обробки даних [11, 12]. За допомогою комп'ютерної програми проводиться аналіз показників.

Зовнішній вигляд приладу МГА та процес визначення КГО подано на рис. 1, а та б, де а — газоаналізатор: 1 — електронний блок (ЕБ); 2 — сенсорний модуль CO_2 ; 3 — сенсорний модуль O_2 ; 4 — сенсорний модуль CO ; 5 — ноутбук; 6,7,8 — трубка; 9 — мунштук; 10 — пневматичний трійник; 11 — джерело живлен-

ня ноутбуку; 12 — джерело живлення ЕБ); б — апробація мультисенсорного газоаналізатора.

Експериментальними дослідженнями, що виконувались з використанням приладу МГА, була показана його спроможність до проведення кількісного аналізу газів, що видихаються. Зокрема, це стосується можливості визначати концентрацію кисню та вуглекислого газу для подальшого отримання розрахункового КГО при видиху повітря [13].

Методика експериментального визначення КГО

Перед проведенням вимірювань необхідно зібрати прилад МГА, як показано на рис. 1, а. Потім за допомогою програми реєстрації та обробки сигналу дії газової суміші виконуємо необхідні налаштування приладу, використовуючи при цьому кнопки «Пуск» та «Налаштування». Вибираємо «Тип датчика» та «Час зчитування». Наступною дією активуємо вікно «Подача газу». Після появи у вікні «Час зчитування» цифри 100 відсотків, яка відповідає часу зчитування, активуємо вікно «Зберегти». Далі входимо в режим вимірювань, натискаючи вікно «Початок видиху». Після закінчення вимірювання натискаємо «Кінець видиху». Результати вимірювання отримуємо в вигляді графіка (рис. 2).

Для збереження файлу з даними необхідно натиснути «Зберегти як CSV» та зберегти файл під іменем у відповідній папці. Результати проведеного вимірювання будуть автоматично збережені даною програмою в Excel-файлі.

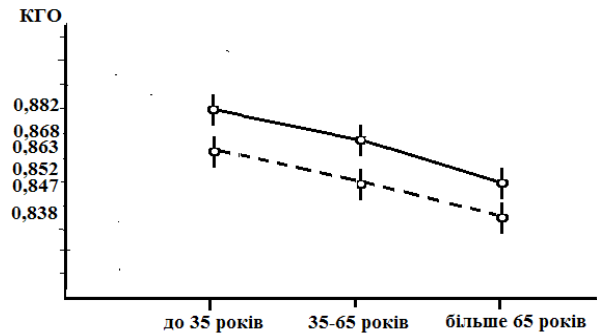


Рис. 3. Залежність КГО для різних статевих груп. (пунктирна лінія — жінки, суцільна лінія — чоловіки)

Результати експериментальних досліджень

Для визначення діапазону вимірювань КГО в різних статевих групах були виконані вимірювання концентрації кисню та CO₂ при видиху у 45 здорових людей. Вимірювання проводились у людей, які належали до трьох вікових категорій: до 35 р. — 12 осіб; від 35 до 65 р. — 27 осіб і більше 65 р. — 6 осіб. За статевим поділом до досліджуваної групи входило: 17 жінок та 28 чоловіків, всі здорові люди. За даними вимірювань розраховували КГО згідно виразу (4), результати подано в табл. 2.

Обробка результатів вмісту кисню та CO₂ при видиху у 45 осіб дозволила визначити кількісні відмінності КГО в різних вікових групах. За результатами тесту Стьюдента при $p = 0,1$ статистична відмінність між групами не виявлена. При цьому встановлено, що зі збільшенням віку КГО зменшується, а також відмічено менші значення КГО у жінок порівняно з чоловіками.

Таблиця 2. Результати вимірювань КГО при видиханні повітря в різних статевих групах (середнє ±СКВ).

Статеві групи	Вікові групи, років			Разом, 45 осіб
	< 35, 12 осіб	35–65, 27 осіб	> 65, 6 осіб	
Чол., 28 осіб	0,882±0,0326	0,868±0,0297	0,847±0,0258	0,865±0,0294
Жінки, 17 осіб	0,863±0,034	0,852±0,023	0,838±0,015	0,851±0,024
Разом	0,872±0,033	0,860±0,026	0,843±0,0204	0,858±0,0267
Межі норми	0,839–0,905	0,834–0,886	0,8226–0,8634	0,8313–0,8847

Висновки

В експериментальному дослідженні, що виконувалося з використанням приладу МГА за допомогою розробленої неінвазивної методики, було проведено вимірювання складових газової суміші, що видихається та подальший розрахунок КГО. Результати дослідження групи 45 здорових, різних за віком та статтю осіб, показали, що отриманий КГО для всієї когорти лежить в межах 0,838–0,882, що відповідає показникам норми середньої дорослої людини.

Розроблений прилад може бути використаний для тестування газової суміші, що види-

хається людиною, а також її складу та є придатним для кількісних вимірювань показників дихання людини в діагностичних цілях. Однак, для отримання більш достовірних даних необхідно збільшити об'єм вибірки та розширити діапазон досліджень за рахунок включення нозологічних форм. Знання меж норми КГО дозволяє своєчасно виявляти відхилення в системі газообміну та дозволяє давати людині рекомендації щодо стабілізації системи дихання. Одним з таких підходів, з огляду на взаємозв'язок ДК з КЕК, може бути методика визначення типу дієтичного харчування при лікуванні різних захворювань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Физиология человека. Под ред. Р. Шмидта, Г.Тевса, М.: Мир, 1996, 198 с.
2. Курс лекций по нормальной физиологии, Красноярск: Изд-во КрМУ, 2012, 470 с.
3. Недостаточность функций внешнего дыхания, Л.: Медгиз, 1957, 304с.
4. Старшев А.М., Смирнов И.В., Спирография для профессионалов. Методика и техника исследования функций внешнего дыхания: пособие для врачей. М.: Познавательная книга-пресс, 2003, 80 с.
5. Андреева М.В. Возрастная динамика показателей внешнего дыхания у женщин в возрасте 30–40 и 41–50 лет. Вестник ЮУрГУ, 2009, № 27. С. 47–51.
6. Харьков А.С. Справочник пульмонолога: рациональная пульмонология. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000, 384 с.
7. Спортивная медицина: руководство для врачей. Под ред. А.В. Чоговадзе, Л.А. Бутченко. М.: Медицина, 1996, 384 с.
8. Лукаш С.І., Вакал Л.П., Розробка методики вимірів маркерних газів у повітрі дихання. Комп'ютерні засоби, мережі та системи, 2012, № 11. С.84–86.
9. Войтович І.Д., Вакал Л.П., Лукаш С.І., Мерзвинський П.А., Будник М.М. Діагностика стану людини по повітрю дихання. Тези допов. міжнарод. конф. «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку». Київ, Ін-т кібернетики НАНУ. 2013. С. 248–249.
10. Лукаш С.І., Ходаковський М.І., Будник М.М. Метрологічна атестація газоаналізатора вуглекислого газу. Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2014): мат. щорічної наук.-техн. школи-семінару. 2014. С. 121–124.
11. Лукаш С.І., Будник М.М., Горобець І.М. Автоматизований програмно-апаратний комплекс для оцінки стану здоров'я людини. Комп'ютерні засоби, мережі та системи. 2015. № 14. С. 85–89.
12. Лукаш С.І., Фролов Ю.О., Вакал Л.П., Лукаш Л.Л., Будник М.М. Прилад для діагностики зовнішнього дихання. Комп'ютерні засоби, системи та мережі: зб. наук. пр. НАН України. ІК ім. В. М. Глушкова. Київ. 2016. № 15. С. 38–42.
13. Остапенко О.Ю., Ходаковський М.І., Будник М.М., Коваленко О.С., Кобзар Т.А., Крячок Т.В. Апробація мультисенсорного газоаналізатора для діагностики стану дихання людини. Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні системи і технології в медицині» ISM-2018. 28–30 листоп. 2018 р., м.Харків. С. 41–44.

Надійшла 30.04.2019

REFERENCES

1. Fiziologiya cheloveka, 1996. Pod red. R. Shmidta, G.Tevsa. M.: Mir, 198 p. (In Russian).
2. Savchenkov, Yu.I., 2012. Kurs lektsiy po normal'noy fiziologii. Krasnoyarsk: Izdatelstvo KrMU, 470 p. (In Russian).
3. Dembo, A. G., 1947. Nedostatochnost' funktsiy vneshnego dykhaniya. L. Medgiz, 304 p. (In Russian).

4. Starshev, A.M., 2003. Spirografiya dlya professionalov. Metodika i tekhnika issledovaniya funktsiy vneshnego dykhaniya: posobiye dlya vrachey. A.M. Starshev, I.V. Smirnov. M.: Poznavatel'naya kniga-press, 80 p. (In Russian).
5. Andreyeva, M.V., 2009. "Vozrastnaya dinamika pokazateley vneshnego dykhaniya u zhenshchin v vozraste 30–40 i 41–50 let". Vestnik YUUrGU, 27, pp. 47–51. (In Russian).
6. Khar'kov, A.S., 2000. Spravochnik pul'monologa: ratsional'naya pul'monologiya. Rostov-na-Donu: Feniks, 384 p. (In Russian).
7. Sportivnaya meditsina: rukovodstvo dlya vrachey, 1996. Pod red A.V. Chogovadze, L.A. Butchenko. M.: Meditsina, 384 p. (In Russian).
8. Lukash, S.I., Vakal, L.P., 2012. "Rozrobka metodiki vimiriv markernih gaziv u povitri dikhannya. Komp'yuterni zasoby, merezhi ta sistemi, 11, pp. 84–86. (In Ukrainian).
9. Voytovich, I.D., Vakal, L.P., Lukash, S.I., Merzhvinskyi, P.A., Budnyk, M.M., 2013. "Diagnostika stanu lyudini po povitryu dikhannya". Tezi dopov. mizhnarod. konf. "Suchasna informatika: problemi, dosyagnennya ta perspektivi rozvitku". Kyiv, Institut kibernetiki NANU, pp. 248–249. (In Ukrainian).
10. Lukash, S.I., Khodakovskiy, M.I., Budnyk, M.M., 2014. "Metrologichna atestatsiya gazoanalizatora vuglekislogo gazu". Biologichna i medichna informatika ta kibernetika (BMIK-2014): mat. shchorichnoi nauk.-tekhn. shkoli-seminaru, pp. 121–124. (In Ukrainian).
11. Lukash, S.I., Budnyk, M.M., Gorobets, I.M., 2015. "Avtomatizovaniy programno-aparatniy kompleks dlya otsinki stanu zdorov'ya lyudini". Komp'yuterni zasoby, merezhi ta sistemi, 14, pp. 85–89. (In Ukrainian).
12. Lukash, S.I., Frolov, Yu.O., Vakal, L.P., Lukash, L.L., Budnyk, M.M., 2016. "Prilad dlya diagnostiki zovnishn'ogo dikhannya". Komp'yuterni zasoby, sistemi ta merezhi: zb. nauk. pr. NAN Ukraini. IK im. V. M. Glushkova, Kyiv, 15, pp. 38–42. (In Ukrainian).
13. Ostapenko, O.Yu., Khodakovskiy, M.I., Budnyk, M.M., Kovalenko, O.S., Kobzar, T.A., Kryachok, T.V., 2018. "Aprobatsiya multisensornogo gazoanalizatora dlya diagnostiki stanu dikhannya lyudini". Mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya "Informatsiyeni sistemi i tekhnologii v meditsini", ISM-2018, 28–30 lystopada 2018, Kharkiv, pp. 41–44. (In Ukrainian).

Received 30.04.2019

M.I. Khodakovskiy, PhD in Techn. Sciences, Senior Researcher of Department Sensory devices, systems and technologies of contactless diagnostics of the Institute of Cybernetics V.M. Glushkov of the National Academy of Sciences of Ukraine
40, Acad. Glushkova Ave., 03187, Kyiv, Ukraine,
nhodak@ukr.net

M.M. Budnyk, Dr. Sc. in Techn. Sciences, Chief Research Officer of Department Sensory devices, systems and technologies of contactless diagnostics of the Institute of Cybernetics V.M. Glushkov of the National Academy of Sciences of Ukraine,
40, Acad. Glushkova Ave., 03187, Kyiv, Ukraine,
budnyk@meta.ua

T.A. Kobzar, Ph.D (Medical Science), Senior Researcher of International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,
40, Acad. Glushkova Ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine,
kobzarta@ukr.net

T.V. Kryachok, Junior Researcher of the International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine,
40, Acad. Glushkova Ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine,
kondratyktanya@gmail.com

USE OF MULTISENSOR GAZOANALIZATOR FOR THE TESTING OF AIR COMPOSITION DURING HUMAN BREATHING

Introduction. During the oxidation of products resulting from the long chain of chemical transformations of carbohydrates, fats and proteins, carbon dioxide as a marker of metabolic processes in the body is emitted. The ratio of carbon dioxide

emitted from the body to the volume of oxygen absorbed during the same time a determination of the respiratory coefficient can be used. There are a number of methods for determining this coefficient, but they provide only general recommendations for the assessment of metabolic processes that do not take into account the personal characteristics of the organism, which follow in determining the parameters of respiration. Therefore, an urgent task is to create an information technology that, using a multisensory gas analyzer and a non-invasive method, will make it possible to measure the components of a gas mixture exhaled by a person to identify deviations in the gas exchange system.

Purpose. The purpose of the article is to create an integrated IT for non-invasive determination of the gas exchange coefficient using a multi-touch gas analyzer and the calculation of the state of the respiratory system for the timely detection of deviations in the gas exchange system.

Methods. IT, which using the method of non-invasive determination of the gas exchange coefficient using a multi-touch gas analyzer allows you to measure the components of the gas mixture exhaled by a person was proposed. The method of calculating indicators of the state of the respiratory system timely detection of deviations in the gas exchange system is allows. This IT, taking into account the relationship of the respiratory coefficient with the caloric oxygen coefficient, to create a method for determining the type of dietary nutrition in the treatment of various diseases can be used.

Result. In an experimental study that was carried out using an MGA device using the developed non-invasive technique, measurements of the components of the gas mixture of exhaled air and the subsequent calculation of the CGE were made. The results of a study of a group of 45 healthy individuals of different age and sex that the obtained CGE for the entire group was within 0,838–0,882, which corresponds to the norm of the average adult are showed.

Conclusions. A method of non-invasive determination of the gas exchange coefficient using a multi-touch gas analyzer is proposed. The measurement features of the components of the gas mixture exhaled by man, and a method was developed for calculating indicators of the state of the respiratory system during measurements for the timely detection of deviations in the gas exchange system were used.

Keywords: *multi-touch gas analyzer, gas exchange coefficient, analysis of the gas mixture, indicators of the state of the respiratory system.*

Н.І. Ходаковський, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник,
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины,
просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
nhodak@ukr.net

Н.Н. Будник, д-р техн. наук, главный научн. сотрудник,
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины,
просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
budnyk@meta.ua

Т.А. Кобзар, канд. мед. наук, ст. научн. сотрудник,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем
НАН и МОН Украины,
просп. Академика Глушкова, 40, Киев 03187, Украина,
kobzarta@ukr.net

Т.В. Крячок, мл. научн. сотруд.,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем
НАН и МОН Украины,
просп. Академика Глушкова, 40, Киев 03187, Украина,
kondratyktanya@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СОСТАВА ВОЗДУХА ПРИ ДЫХАНИИ ЧЕЛОВЕКА

Введение. При окислении продуктов, образующихся в результате длинной цепи химических превращений углеводов, жиров и белков, выделяется углекислый газ как маркер обменных процессов в организме. Отношение углекислого газа, выделяемого из организма, к поглощенному за то же время объему кислорода может быть опре-

делением дыхательного коэффициента. Существует ряд методик определения указанного коэффициента, однако они дают лишь общие рекомендации к оценке обменных процессов, не учитывающие персональные характеристики организма, которые вытекают при определении показателей дыхания. Поэтому актуальной задачей является создание информационной технологии, которая с помощью мультисенсорного газоанализатора и неинвазивной методики позволит измерять составляющие газовой смеси, выдыхаемой человеком для выявления отклонений в системе газообмена.

Цель статьи — создание интегрированной ИТ для неинвазивного определения коэффициента газообмена с помощью мультисенсорного газоанализатора и расчета показателей состояния дыхательной системы для своевременного выявления отклонений в системе газообмена.

Методы. Предложена ИТ, которая с помощью методики неинвазивного определения коэффициента газообмена и мультисенсорного газоанализатора позволяет измерять составляющие газовой смеси, выдыхаемой человеком. Метод расчета показателей состояния дыхательной системы позволяет своевременно выявлять отклонения в системе газообмена. Указанная ИТ с учетом взаимосвязи дыхательного коэффициента с калорическим коэффициентом кислорода может быть использована при создании методики определения типа диетического питания при лечении различных заболеваний.

Результат. В экспериментальном исследовании, которое выполнялось с помощью разработанной неинвазивной методики с использованием прибора МГА, были проведены измерения составляющих газовой смеси выдыхаемого воздуха и последующий расчет КГО. Результаты исследования группы из 45 здоровых, разных по возрасту и полу лиц, показали, что полученный КГО для всей группы лежит в пределах 0,838–0,882, что соответствует показателям нормы среднего взрослого человека.

Выводы. Предложена методика неинвазивного определения коэффициента газообмена с помощью мультисенсорного газоанализатора. Используются особенности измерения составляющих газовой смеси, выдыхаемой человеком и создан метод расчета показателей состояния дыхательной системы при измерениях для своевременного выявления отклонений в системе газообмена.

Ключевые слова: мультисенсорный газоанализатор, коэффициент газообмена, анализ газовой смеси выдоха человека, показатели дыхания человека.