

УДК 615.074:616.23:006.9

Андрій ЗАЙЦЕВ<sup>1</sup>, асистент,  
Ніна МАЦЕГОРА<sup>1</sup>, д.мед.н., професор,  
Софія КАМІНСЬКА<sup>2</sup>, аспірант,  
Сергій ЗАЙЦЕВ<sup>2</sup>, к.т.н., інженер 1 категорії,  
Валентин ТІХЕНКО<sup>2</sup>, д.т.н., професор

<sup>1</sup>Одеський національний медичний університет. м. Одеса, Україна, e-mail: zaitsevandrill@gmail.com, nmatsegora@ukr.net

<sup>2</sup>Національний університет «Одеська політехніка» м. Одеса, Україна. e-mail: pupsendraa@gmail.com, sdgjavdet@ukr.net, vntikhenko@gmail.com

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВІДБОРУ ТА ПІДГОТОВКИ ПРОБИ ВИДИХУВАНОВОГО ПОВІТРЯ ПАЦІЄНТА ДЛЯ ГАЗОХРОМАТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ

**Мета роботи** – підвищення вірогідності діагностуванні наявності патологій органів дихання пацієнта за результатами удосконалення методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря для газохроматографічного аналізу. Удосконалено пристрій для відбору та підготовки проби видихуваного повітря, а також методики відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для газохроматографічного аналізу. Відібрану пробу видихуваного повітря в шприц перед введенням в нагрітий газовий кран-дозатор газового хроматографа рекомендовано нагріти до температури 40...50 °С. Отримано математичну формулу для розрахунку часу зберігання проб видихуваного повітря в шприці в залежності від фізико-хімічних властивостей діагностичних компонентів в шприці та конструктивних особливостей шприца.

**Ключові слова:** видихуване повітря, вологе повітря, відбір проб, підготовка проби, діагностичні компоненти повітря, газова хроматографія.

На даний час широко застосовуються методи діагностуванні наявності та розвитку патологій органів дихання пацієнта за результатами аналізу видихуваного повітря за різними методиками газової хроматографії [1, 2, 3]. Процедури визначення вмісту біологічних маркерів методами газової хроматографії в повітрі, що видихається, дозволяють неінвазивно діагностувати наявність і розвиток патологій органів дихання пацієнтів. Удосконалення методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря для подальшого аналізу за методами газової хроматографії є актуальним завданням при діагностуванні наявності та розвитку патологій органів дихання пацієнта [4, 5].

Для досягнення мети дослідження було встановлено наступні завдання:

– удосконалення конструкції пристрою, що було застосовано під час розробки методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для подальшого аналізу за методами газової хроматографії;

– удосконалення методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для подальшого аналізу за методами газової хроматографії;

– отримання математичної формули для орієнтованого розрахунку часу зберігання проб видихуваного повітря, що знаходиться в шприці, в залежності від фізико-хімічних властивостей діагностичних компонентів (біомаркерів – газів; пару) в шприці та конструктивних особливостей шприца.

На рис. 1 показано пристрій, що було удосконалено та застосовано під час розробки методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для подальшого аналізу за методами газової хроматографії.

Методики відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для подальшого аналізу за методами газової хроматографії включають наступні основні операції:

1. При відкритому з'йомному триходовому крані 3 необхідно поршень 6 з елементами вузла герметизації з еластичною силіконовою прокладкою 7 видалити з корпусу шприца 5;

2. Мундштук (рис. 1, *a*) приєднати до з'єднувальної муфти 1;
3. Скрізь мундштук (рис. 1, *a*) та відкритий з'йомний триходовий кран (рис. 1, *б*, поз. 3) набрати в корпус шприца 5 видихуване повітря 8;
4. В корпус шприца 5 ввести поршень 6 на глибину 10...15 мм та зафіксувати його за допомогою вузла герметизації з еластичною силіконовою прокладкою 7;
5. Закрити з'йомний триходовий кран 3 та від'єднати мундштук (рис. 1, *a*) від з'єднувальної муфти 1;
6. Зберігати та транспортувати шприц потрібно в герметичному термосі (на рис. 1 умовно не показано) (це захищає шприц від ударів, вібрації, світла та температури нижче 5 °С);
7. Разом із шприцом відібрану пробу видихуваного повітря, що знаходиться в шприці, перед введенням в нагрітий газовий кран-дозатор газового хроматографа, необхідно нагріти до температури 40...50 °С на протязі 20...30 хвилин.
8. Після повного використання проби аналізованого видихуваного повітря, шприц потрібно промити потоком чистого та сухого повітря (або аргона) об'ємом, що перевищує внутрішній об'єм шприца у десять разів.



**Рис. 1.** Мундштук (*a*) і шприц (*б*) для відбору проби видихуваного повітря пацієнта:  
1 – з'єднувальна муфта; 2 – патрубок; 3 – з'йомний триходовий кран; 4 – металева кінцівка;  
5 – корпус шприца; 6 – поршень; 7 – вузол герметизації з еластичною силіконовою прокладкою;  
8 – проба аналізованого газу

В цій роботі отримано математичну формулу для орієнтованого розрахунку часу зберігання проб видихуваного повітря, що знаходиться в шприці, в залежності від фізико-хімічних властивостей діагностичних компонентів (біологічних маркерів) в шприці та його конструктивних особливостей. При виконанні розрахунків передбачалося, що концентрація найбільш рухомого газу – водню в пробі аналізованого повітря за весь час транспортування та зберігання в шприці не буде змінюватися більш ніж на 5% відносних. Час  $\tau$  зміни концентрації розчиненого в пробі аналізованого водню на вказану величину оцінено наступним чином за отриманою формулою

$$\tau = \frac{0,05d \cdot l_m (D \cdot l_b + D_b \cdot \Delta_b \cdot l_b)}{4D \cdot D_b \cdot \Delta \cdot \Lambda_b},$$

- де:
- $d$  – внутрішній діаметр корпусу шприца;
  - $l_m$  – довжина області шприца, яка зайнята аналізованим обсягом повітря, що видихається;
  - $D$  – коефіцієнт дифузії діагностованого газу (біомаркера) в пробі аналізованого повітря, що видихається;
  - $l_b$  – довжина шляху дифузії діагностичного газу (біомаркера) через шар силіконової прокладки у вузлі герметизації;
  - $D_b$  – коефіцієнт дифузії діагностованого газу (біомаркера) у силіконовій прокладці;
  - $\Delta_b$  – ширина області, в якій дифундує діагностичний газ (біомаркера) через шар силіконової прокладки у вузлі герметизації;
  - $l_p$  – довжина шляху витоку діагностичного газу (біомаркера) вздовж прошарку між корпусом та поршнем шприца;

$\Delta$  – товщина зазору між поршнем та корпусом шприца.

Повітря, що видихається пацієнтом, змінюється за складом під час видиху. Повітря, що видихається в першу чергу, містить в основному вологе повітря, розташоване в роті, носі та у верхніх дихальних шляхах. Вологе повітря, що видихається трохи пізніше під час того ж видиху, містить головним чином повітря з бронхів і нижньої частини дихального шляху. Тому повітря, що видихається в останню чергу, буде повітрям в основному з альвеол або повітряних мішків легенів. Це дозволяє визначати вміст діагностичних газів (біомаркерів) в аналізованому повітрі, що видихається, на різних фазах його видихування пацієнтом.

**Висновки.** Для досягнення мети дослідження було виконано наступні завдання:

1. Удосконалено пристрій, що було застосовано під час розробки методик відбору та підготовки проби видихуваного повітря для подальшого аналізу за методами газової хроматографії, який включає в себе мундштук та шприц для відбору проби газоподібного видихуваного повітря. Шприц в свою чергу включає в себе: з'єднувальну муфту; патрубок; з'йомний триходовий кран; металеву кінцівку; корпус шприца; поршень; вузол герметизації з еластичною силіконовою прокладкою;

2. Удосконалено методики відбору та підготовки проби видихуваного повітря пацієнта для подальшого аналізу за методами газової хроматографії;

3. Відібрану пробу видихуваного повітря, що знаходиться в шприці, перед введенням в нагрітий газовий кран-дозатор газового хроматографа, необхідно нагріти до температури 40...50 °C на протязі 20...30 хвилин;

4. Отримано математичну формулу для орієнтованого розрахунку часу зберігання проб видихуваного повітря, що знаходиться в шприці, в залежності від фізико-хімічних властивостей діагностичних компонентів (біологічних маркерів) в шприці та конструктивних особливостей шприца.

## Література

1. Степанов Е.В., Касоев С.Г. Многокомпонентный анализ биомаркеров в выдыхаемом воздухе методами диодной лазерной спектроскопии / Е.В. Степанов, С.Г. Касоев // Оптика и спектроскопия. – Т. 126 (6). – 2019. – С. 810–819.

2. Скоморощенко В.И., Пенкова О.В., Кистенев Ю.В., Борисов А.В. Выявление наиболее специфических летучих метаболитов методом газовой хроматографии в пробах выдыхаемого воздуха больных раком легких и здоровых добровольцев / В.И. Скоморощенко, О.В. Пенкова, Ю.В. Кистенев, А.В. Борисов // Вестник Томского государственного университета. Химия. – № 7. – 2017. – С. 45–54.

3. Мацегора Н.А., Зайцев А.С., Беседа Я.В., Смольська І.М., Лекан О.Я., Шпота О.Є. Сучасні методи діагностування захворювань внутрішніх органів за результатами контролю вмісту специфічних компонентів у повітрі, що видихають пацієнти / Н.А. Мацегора, А.С. Зайцев, Я.В. Беседа, І.М. Смольська, О.Я. Лекан, О.Є. Шпота // Вісник морської медицини. – № 3 (92). – 2021. – С. 129–140.

4. Zaitsev A., Matsegora N., Zaitsev S., Kaminska S., Tikhenko V. Application of gas chromatography methods for analysis of exhaled air by patients with respiratory diseases / A. Zaitsev, N. Matsegora, S. Zaitsev, S. Kaminska, V. Tikhenko // Праці Одеського політехнічного університету. – Вип. 2(64). – 2021. – С. 52–60.

5. Малышева А.О., Балдин М.Н., Грузнов В.М., Блинова Л.В. Внелабораторный экспрессный газохроматографический способ анализа выдыхаемого человеком воздуха с автоматизированной градуировкой / А.О. Малышева, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов, Л.В. Блинова // Аналитика и контроль. – Т. 22, № 2. – 2018. – С. 177–185.