

4. Афтанюк В. В. Моделювання гідродинаміки корпусу судна з урахуванням біологічного забруднення / В. В. Афтанюк, О. Є. Гаврілкін // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вып. 39. – Одеса : НУ «ОМА», 2019. – С. 14–21.

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІЙ-КИСНЕВИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЛЕГЕНЬ

*Опачко І. І.<sup>1</sup>, Товт-Коршинська М. І.<sup>2</sup>*

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,*

*E-mail: <sup>1</sup>ivan.opachko1@uzhnu.edu.ua, <sup>2</sup>m.tovtk@uzhnu.edu.ua*

У публікації представлено аналіз досвіду використання геліюксу, як дихальної суміші, та зокрема, для механічної вентиляції легень. Важливими є тип дихального потоку (ламінальний, турбулентний, змішаний) в дихальних шляхах, що залежить від відношення щільності до в'язкості. Для геліюксу це співвідношення є оптимальними. Використання геліюксу для механічної вентиляції легень відкриває нові можливості, але й потребує належної калібрації приладу.

У 1934 році Varach вперше описав фізіологію геліюксу (гелій у газовій суміші з киснем) в дихальних шляхах та виступив за його використання при різноманітних захворюваннях системи зовнішнього дихання [1].

Після 1930-х років мало повідомлялося про клінічне застосування геліюксу аж до 1979 року [2]. Можливо (це наше припущення), ці суміші та системи їх інсуфляції розроблялись для військового дайвінгу, і тільки у кінці століття вони стали доступні цивільним.

Здебільшого геліюкс використовують для дайвінгу, в глибоководній фазі занурення (глибина від 30 до 610 м). [3].

Мета роботи полягала у аналізі представленою у медичній літературі досвіду використання геліюксу/або гелій – кисневих сумішей для механічної вентиляції легень

Гелій (Helium) – хімічний елемент з атомним номером 2, а також проста речовина, яку він утворює. За нормальних умов (температура 20 °C (293,15 K) і абсолютний тиск 1 атм), це дуже легкий (меншою щільністю володіє лиш водень), хімічно інертний (найінертніший) одноатомний газ без запаху, кольору та смаку. Нетоксичний, має високу дифузійну здатність та низьку розчинність у воді та біологічних рідинах.

За нормальних умов: щільність гелію 0,18 кг/м<sup>3</sup> (повітря – 1,3 кг/м<sup>3</sup>); в'язкість – 18,87 мкПа·с (повітря – 17,08 мкПа·с). Геліюкс

(heliox) – це суміш гелію (зазвичай 70–80 %) і кисню (зазвичай 20–30 %). Відношення густини гелій-кисневої суміші до густини повітря становить 0,33 [4].

При механічній вентиляції легень, гелій у газовій суміші з киснем (геліокс), що має низьку щільність, може забезпечити необхідний потік газу при нижчому тиску у дихальних шляхах. Це дозволяє, наприклад, зменшити ризик вентиляційної баротравми, причиною якої є насамперед перевищення гранично допустимих значень тиску в різні моменти дихального циклу; дає змогу забезпечити необхідний потік дихальної суміші на фоні локально зміненого легеневого комплаєнсу, який виникає при гостро-респіраторному дистрес-синдромі (ГРДС) [5].

Фізіологія впливу в'язкості та щільності газу на потік повітря опирається на закономірність: сила (або робота), необхідна для створення та підтримки повітряного потоку через трахеобронхіальне дерево, залежить як від податливості дихальної системи (легеневий комплаєнс), так і від опору повітряному потоку [6].

Газовий потік через трубку (наприклад, дихальний шлях) моделюється як ламінарний, турбулентний або суміш обох. Ламінарний потік можна уявити як концентричні газові циліндри, що рухаються з різною швидкістю; швидкість найвища у центрі та поступово знижується до периферії.

Турбулентний потік зазвичай виникає в точках розгалуження, гострих кутах і при зміні діаметра труби. Турбулентний рух газу потребує більшого русійного тиску для досягнення заданого потоку (газу), ніж ламінарний.

Потік також залежить від густини та в'язкості дихальної суміші, який характеризується числом Рейнольдса (Re):

$$\text{Re} = \frac{2V \cdot \rho}{\pi \cdot r \cdot \eta} \quad (1)$$

де  $V$  – потік;  $\rho$  – густина (щільність);  $r$  – радіус трубки;  $\eta$  – в'язкість газу).

Звідси випливає, що

$$\text{Re} = \frac{\rho}{\eta} \quad (2)$$

Число Рейнольдса таким чином, описує зв'язок між густиною та в'язкістю газу при визначенні того, чи є потік турбулентним чи ламінарним:  $\text{Re} \geq 4000$  передбачає турбулентний потік,  $\text{Re} \leq 2000$  – ламінарний потік [7].

Отже, коли  $Re$  є високим, сила, необхідна для створення заданої швидкості потоку, визначається більшою мірою густиною рідини (2), і потік є більш турбулентним. І навпаки, при нижчому  $Re$  швидкість потоку більшою мірою визначається в'язкістю рідини, і потік є більш ламінарним. Ці висновки започаткували проведення клінічних досліджень для розробки гелієво-кисневої суміші, інгаляція якою знижує ризик формування турбулентного потоку, а також зменшує опір дихальних шляхів на фоні вже існуючого турбулентного потоку оскільки гелій має низьку величину відношення щільність/в'язкість ( $gas\ density/gas\ viscosity$ ) [5].

У процесі накопичення досвіду використання геліюксу для респіраторної підтримки було встановлено ряд позитивних ефектів: покращення однорідності газорозподілу; покращення виведення  $CO_2$ ; збільшення дихального об'єму; зниження вимоги транспульмонального тиску; покращення доставки аерозолів (небулайзер).

Відмічається також успішне застосування геліюксу для швидкого покращення індексу оксигенації при: обструкції верхніх дихальних шляхів; постекстубаційному стридорі; об'ємних утворах середостіння: крупі; бронхіоліті; пневмонії, загостренні астми та хронічному обструктивному захворюванні легень (ХОЗЛ). Перспективним є дослідження респіраторної підтримки та ШВЛ геліюксом при ГРДС [2; 3; 8].

Основною технічною проблемою застосування геліюксу є той факт, що фізичні властивості гелію можуть перешкоджати декільком ключовим функціям штучної вентиляції легень, пов'язаним із злагодженою взаємодією клапанів та датчиків, такими як: змішування газів, точність клапанів вдиху та видиху, запуск, позитивний тиск у кінці видиху, вимірювання потоку, і автоматична компенсація витoku. Але коефіцієнти калібрування датчиків поширених апаратів ШВЛ для роботи з геліюксом розраховані, розроблено алгоритми обчислення таких коефіцієнтів для інших систем механічної вентиляції легень [9].

Таким чином, потенційні терапевтичні ефекти геліюксу пов'язані з його низькою щільністю та схильністю до ламінарного потоку повітря. Зменшення турбулентного потоку діє на зменшення опору дихальних шляхів, коливань плеврального тиску та динамічної гіперінфляції. Ці фактори в сукупності зменшують роботу дихання.

Використання геліюксу під час ШВЛ вимагає відповідного калібрування апарата ШВЛ і ретельного моніторингу дихання через змінний вплив геліюксу на роботу ШВЛ. Розрахунок доставленої частки вдихуваного кисню ( $FiO_2$ ) і дихального об'єму повинен ґрунтуватися на відомих алгоритмах і використанні  $heliox$  у цих умовах, ймовірно, має бути обмежене центрами зі значним досвідом.

Перспективи подальших досліджень пов'язані із потребою в послідовних клінічних (подвійно-засліплених плацебо контрольованих) дослідженнях ефекту геліюксу.

### **Література**

1. Barach, A.L. (1935). The use of helium in the treatment of asthma and obstructive lesions in the larynx and trachea. *Ann Intern Med.* 9:739.
2. Thiriet M, Douguet D, Bonnet JC, Canonne C, Hatzfeld C. [The effect on gas mixing of a He-O<sub>2</sub> mixture in chronic obstructive lung diseases (author's translation)] *Bull Eur Physiopathol Respir* 1979; 15(5): 1053–1068. Article in French.
3. Hess, D. R., Fink, J. B., Venkataraman, S. T., Kim, I. K., Myers, T. R. & Tano, B. D. (2006). The history and physics of heliox. *Respiratory care*, 51 (6), 608–612.
4. Shuen-Chen Hwang, Robert D. Lein, Daniel A. Morgan (2005). "Noble Gases". *Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley. pp. 343–383.
5. Dimitri Papamoschou, (1995). Theoretical validation of the respiratory benefits of helium-oxygen mixtures, *Respiration Physiology*, Volume 99, Issue 1, p. 183–190.
6. Dubois, A. B. (1986). Resistance to breathing. In P. Macklem and J. Mead, editors. *Handbook of Physiology, Section 3: The Respiratory System, Vol. III. Mechanics of Breathing, Part I*. American Physiological Society, Bethesda, MD. 451–461.
7. Pedley, T. J., and J. M. Drazen. (1986). Aerodynamic theory. In P. Macklem and J. Mead, editors. *Handbook of Physiology: Section 3. The Respiratory System, Vol. III. Mechanics of Breathing, Part I*. American Physiological Society, Bethesda, MD. 41–54.
8. Hashemian, S. M., & Fallahian, F. (2014). The use of heliox in critical care. *International journal of critical illness and injury science*, 4 (2), 138.
9. Tassaux, D., Jolliet, P., Thouret, J. M., Roeseler, J., Dorne, R., & Chevrolet, J. C. (1999). Calibration of seven ICU ventilators for mechanical ventilation with helium–oxygen mixtures. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 160 (1), 22–32.