

В.О. Лопата, В.Я. Березовський, М.І. Левашов, В.М. Києнко

Класифікація та огляд засобів гіпокситерапії

В обзоре рассматриваются и сопоставляются функциональные и конструктивные особенности гипоксикаторов, разделенных на классификационные группы. Сформулирован комплекс медико-технических требований к гипоксикаторам; оценены перспективы совершенствования терапевтических и диагностических методик гипокситерапии, ее приборного оснащения.

У зв'язку із поширенням в медичній практиці технологій нормобаричного гіпоксичного тренування (НГТ) [1-3,5-8,11-15], актуальним стає їх сучасне апаратурне забезпечення. За останні 15 років розроблено значну кількість спеціалізованих пристроїв для проведення НГТ-гіпоксикаторів, призначенням яких є формування і подача пацієнту гіпоксичної газової суміші (ГГС). Зважаючи на перспективи розвитку цього напрямку немедикаментозної терапії та профілактики захворювань, доцільно виділити гіпоксикатори в окремий клас респіраторної апаратури і встановити медико-технічні вимоги (МТВ) до її основних параметрів. Згідно з аналізом літератури про методи НГТ [2-4,9,10,14], патентних фондів і технічної документації класифікацію гіпоксикаторів можна провести за трьома ознаками: способи формування ГГС; способи регулювання і підтримки складу ГГС; способи подачі ГГС пацієнту.

За способом формування ГГС гіпоксикатори доцільно поділити на дві групи (рис1). В апаратах першої групи газова суміш формується зі стиснутих чи зріджених газів, або ежекцією атмосферного повітря потоком стиснутого азоту в співвідношенні 1:1, або прямою подачею з балона заздалегідь виготовленої суміші ста-

лого складу [2,8,9]. Незважаючи на технологічні переваги, метод прямої подачі ГГС економічно недоцільний.

Друга група гіпоксикаторів формує суміш з атмосферного повітря методом дезоксигенації, тобто зменшенням в ньому вмісту кисню. Дезоксигенація, у свою чергу, може здійснюватися різними способами: газорозділенням на полімерних мембранах або порожнистих волокнах [4], розділенням кисню та азоту твердими електролітами [9, 10], тимчасовим зв'язуванням азоту цеолітами з наступним поверненням його в суміш [14], диханням у напівзакритому циркуляційному контурі гіпоксикатора. Найпоширенішими способами дезоксигенації залишаються газорозділення та дихання в напівзакритому контурі. Саме ці способи використано в переважній більшості сучасних гіпоксикаторів [6,7,14,19].

Серед досить широкої номенклатури гіпоксикаторів насамперед слід виділити групу численних і різноманітних пристроїв, що здійснюють режим дихання в напівзакритому циркуляційному контурі. У цих пристроях, позначених терміном „автогіпоксикатор” [9], лінія видиху містить адсорбер з поглиначем вуглекислого газу, а контур має пневматичний зв'язок з атмосферою через буферну ємність [14], жор-

тку чи еластичну. Процес формування ГГС при цьому відбувається під впливом трьох факторів: споживання кисню пацієнтом, зв'язування вуглекислого газу абсорбентом та надходження в контур порцій атмосферного повітря на вдиху. Такий хід процесу забезпечує поступове зниження концентрації кисню в контурі, що зумовлює режим НГТ, достатньо ефективний для тренувань спортсменів і індивідуального застосування у домашніх умовах [11,16]. У разі жорсткої буферної ємності, що на порядок перевищує дихальний об'єм [9], у контурі в процесі дихання відбувається одночасно дезоксигенація газової суміші внаслідок поглинання кисню пацієнтом і її оксигенація при поповненні атмосферним повітрям.

Автогіпоксикатор з еластичною буферною ємністю (мішок Дугласа чи сильфон) відрізняється певними особливостями процесу створення ГГС, швидкість якого залежить від показників дихання пацієнта і технічних характеристик пристрою [16,17]. Істотною перевагою такої конструктивної схеми є можливість використовувати еластичний сильфон як волюмоспірометр для контролю вентиляції легень пацієнта. Ця можливість реалізується введенням у циркуляційний контур лінії подачі кисню та контролю його вмісту, а також електромеханічного перетворювача змін об'єму сильфону [27].

Основний напрямок еволюції автогіпоксикаторів, визначений авторами винаходів СРСР, Російської Федерації й України в пе-

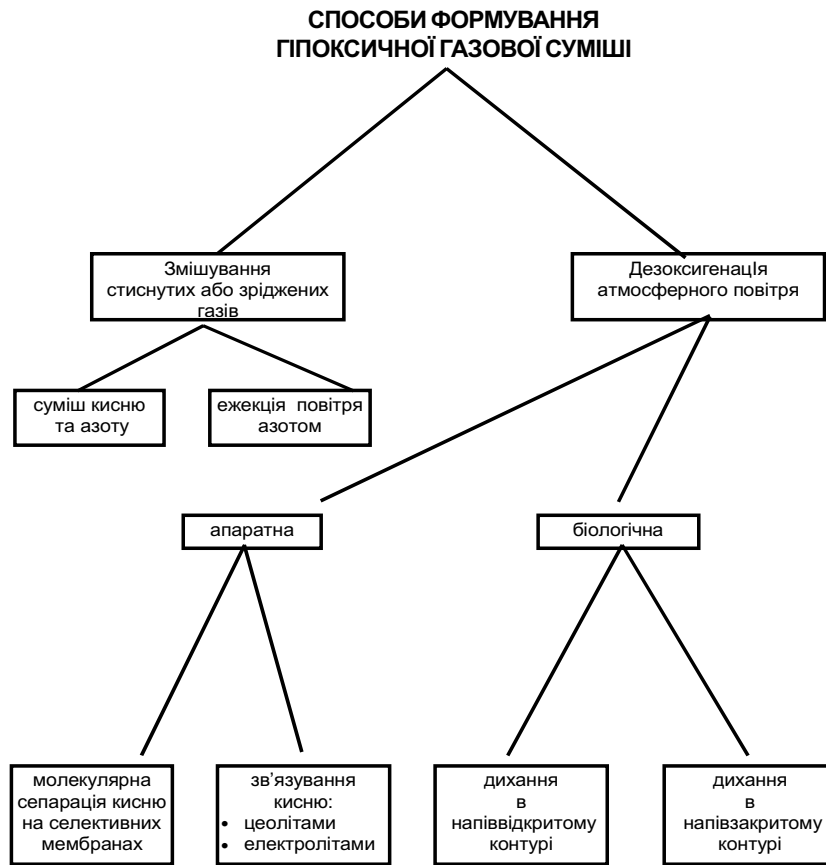


Рис.1. Класифікаційна схема гіпоксикаторів

ріод 1985–2002 рр., ставить за мету спрощення конструкцій і зниження масогабаритних характеристик пристроїв, а також підвищення безпеки і комфортності їх застосування. Така мета цілком зрозуміла і обгрунтована стосовно пристроїв для індивідуального використання поза лікарським контролем. Проблеми безпеки при цьому вирішуються регулюванням і підтримкою складу ГГС у циркуляційному контурі, а також зниженням опору контуру дихання.

Відповідно до запатентованих рішень, способи регулювання та підтримки складу ГГС можуть бути класифіковані як газоаналітичний та аеродинамічний. Газоаналітичний спосіб передбачає використання газоаналізатора кисню із системою продувки контуру при досягненні критичного нижнього рівня вмісту кисню в ГГС [18]. У разі циклічного підключення контуру до газоаналізатора можливе обладнання багатомісного кабінету НГТ на базі одного газоаналізатора [10]. Значно різноманітніші конструкції, які реалізують аеродинамічний спосіб регулювання і підтримки складу ГГС, з використанням аеродинамічних опорів, що зв'язують буферну ємність гіпоксикатора з атмосферою. Співвідношення значень таких опорів, постійне чи регульоване, дозволяє підтримувати склад ГГС у необхідному діапазоні. Як опір використовуються отвори відповідного діаметра [16], діафрагми [20,28], золотниковий розподільник повітряних потоків [18], переміщувані заслінки [19], змінні заглушки з отворами [21, 22].

Гіпоксикатори, що використовують спосіб газорозділення, досить поширені в практиці [2,3], хоча і являють собою більш складні інженерні пристрої. Оскільки швидкість процесу переходу молекул кисню через мембрану або пакет пустотілих волокон залежить від площі контакту з газом і перепаду тиску на цій площі [4], то для досягнення необхідної продуктивності

гіпоксикатора (12-15 л суміші за хвилину) потрібно не лише забезпечити площу контакту, але й створити на ній тиск до 0,4-0,6 мПа [9]. Задані умови вимагають застосування компресорів, здатних розвивати досить високий тиск при ефективній продуктивності та низькому рівні шуму, не використовуючи при цьому класичних поршневих пристроїв (щоб уникнути забруднення масляним аерозолем газорозподільних мембран і сформованої ГГС). Незважаючи на високу вартість через необхідність компресора, газоаналізатора і системи регулювання вмісту кисню в суміші, апаратам з газорозподільними мембранами та волокнами властиві низькі експлуатаційні витрати і універсальність застосування. Крім того, на базі одного блоку, що формує ГГС, можливе створення багатомісного гіпоксикатора. Не викликає сумніву перспективність застосування гіпоксикаторів, побудованих на принципах сорбції азоту цеолітами й дозованої дезоксигенації повітря твердими електrolітами. Однак поки ще рано говорити про конкретні характеристики таких апаратів, оскільки вони не освоєні вітчизняною промисловістю.

Визначаючи галузі оптимального застосування гіпоксикаторів, слід відмітити, що автогіпоксикатори зручні практично у всіх умовах експлуатації, починаючи з індивідуального використання; ежекційні апарати найбільше підходять для використання в установах з можливістю постійного постачання стисненим азотом; газороздільні установки придатні для будь-яких приміщень з наявністю електропостачання [9].

Важливим чинником, що визначає класифікаційні групи гіпоксикаторів (рис. 2), є спосіб подачі ГГС пацієнту. Спосіб подачі за допомогою маски потребує наявності циркуляційного контура і вмонтованої в лінію вдиху (до клапанної коробки) буферної ємності для ГГС. При камерно-

СПОСОБИ ПОДАЧІ ГГС ПАЦІЕНТУ

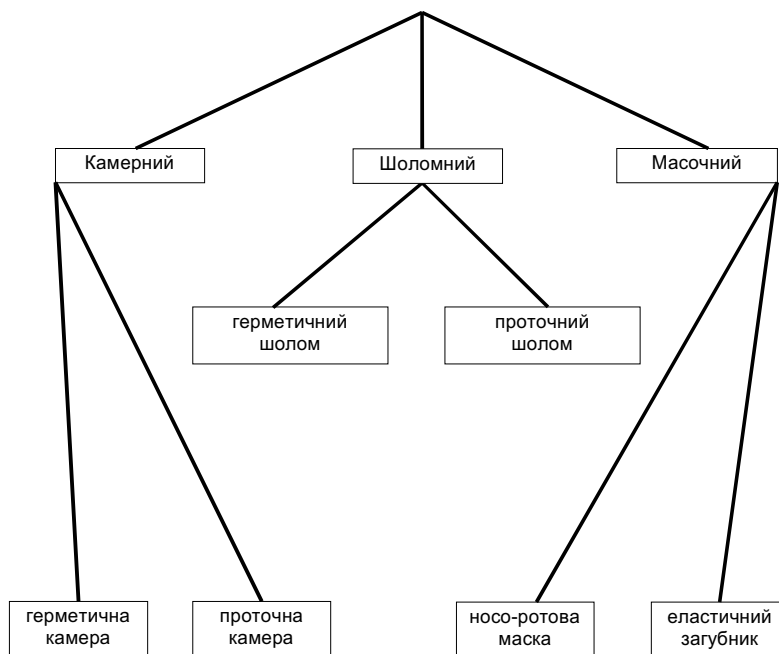


Рис.1. Способи подачі ГГС пацієнту.

му способі пацієнт (або його голова) розміщується в камері (шоломі), приєднаних до блоку формування ГГС. Такі камери можуть бути або герметичними (глухими), заповнюваними ГГС [18], або негерметичними (проточними), через які ГГС продувається [18]. На нашу думку, при камерному способі подачі режим короткочасного змінного дихання ГГС і атмосферним повітрям практично нездійснений [9], тому гіпоксикатори камерного типу доцільно віднести до окремого класу апаратури, що забезпечує методику тривалої нормобаричної або гіпобаричної гіпоксії. З введенням проточних камер невеликого об'єму (наприклад шолома для голови пацієнта) виникає можливість організації ефективного динамічного режиму НГТ [1–3].

Виходячи з методичних рекомендацій застосування НГТ [2,9,10,13] і умов забезпечення комфортності дихання пацієнта

ГГС основні параметри і властивості розглянутих типів гіпоксикаторів повинні визначатися наступними нормативами [9]:

Обов'язкові вимоги:

- 1) Вміст кисню у сформованій ГГС від 9 до 16 об.%.
- 2) Опір диханню циркуляційного контуру не більше 150 Па·с/л.
- 3) Продуктивність за ГГС на одного дорослого пацієнта від 9 до 15 л/хв.

Рекомендовані вимоги:

- 1) Межі абсолютної похибки виміру вмісту кисню в ГГС $\pm 1,5$ об.%.
- 2) Надлишковий тиск повітря на вході в блок формування ГГС від 0,2 до 0,6 мПа.
- 3) Надлишковий тиск ГГС на виході з блоку формування від 0,002 до 0,005 мПа.
- 4) Можливість регулювання відносної вологості повітря.
- 5) Наявність тривожної сигналізації

за граничними рівнями: вмісту кисню в ГГС; продуктивності ГГС; насичення артеріальної крові киснем; частоти серцевих скорочень пацієнта.

Весь комплекс наведених медико-технічних вимог може бути пред'явлений лише до найбільш складних і багатофункціональних пристроїв для проведення НГТ у клінічних закладах. Для безпеки застосування навіть найпростіших гіпоксикаторів, повинні бути задовільнені обов'язкові вимоги 1-3. Подальшому вдосконаленню методів гіпокситерапії буде сприяти не тільки їх фізіологічна аргументованість, але й обґрунтоване підвищення інженерних стандартів апаратурного забезпечення та контролю за реальним станом пацієнта під час проведення лікувально-профілактичного дихання штучним гірським повітрям.

V.A. Lopata, V.A. Berezovskiy, M.I. Levashov,
V.M. Kienko

CLASSIFICATION AND REVIEW OF TECHNICAL DEVICES FOR HYPOXITHERAPY

In the report there considered and compared the functional and constructive features of hypoxicators, divided in classification groups. The complex of medico-technical requirements to hypoxicators is formulated; prospects of perfection of therapeutic and diagnostic methods for hypoxitherapy and their hardware are estimated.

Sensor Systems Co., Kiev; A. A. Bogomoletz Institute of Physiology of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev.

СПИСОК ДІТЕРАТУРИ

1. Березовский В.А. Аллопатический и гомеопатический принципы в лечении заболеваний связанных с кислородным голоданием. - В кн.: Молекулярные аспекты адаптации к гипоксии. - К.: Наук. думка, 1979. - С. 224 – 231.
2. Березовский В.А., Левашов М.И. Введение в оротерапию (Второе, переработанное и дополненное издание). - К.: Випол, 2000. - 76 с.
3. Березовський В.Я., Горбань Є.М., Левашов М.І., Сутковий А.Д. Технологія підвищення резистен-

4. тності організму за допомогою гіпокситерапії (методичні рекомендації). - К., 2000. - 20 с.
4. Берестюк Г.И., Рожанчук В.Н., Грищенко В.И. Мембранное газоразделение в биологии и медицине. - В кн.: Оротерапия. Доклады академии проблем гипоксии. - Т. II. - К., 1998. - С.13 – 18.
5. Волков Н.И. Прерывистая нормобарическая гипоксия в практике спорта высших достижений. - В кн.: Оротерапия. Доклады академии проблем гипоксии. - Т. II. - К., 1998. - С.66 – 67.
6. Дейнега В.Г., Березовский В.А., Бондаренко Г.А. Применение искусственного горного климата в комплексном лечении больных хроническим пылевым бронхитом. Информационное письмо МЗ УССР. - 1985. - Вып. II. - 18 с.
7. Караш Ю.М., Стрелков Р.Б., Чижов А.Я. Нормобарическая гипоксия в лечении, профилактике и реабилитации. - М.: Медицина, 1988. - 352 с.
8. Колчинская А.З., Хацуков Б.Х., Закусило М.П. Кислородная недостаточность - деструктивное и конструктивное действие. - Нальчик, 1999. - 208 с.
9. Лопата В.А. Медико-технические требования к аппаратуре для гипоксической тренировки. - В кн.: Гипоксия: деструктивна та конструктивна дія. - К, 1998. - С.119 – 120.
10. Немеровский Л.И. Принципы построения аппаратуры для прерывистой нормобарической гипоксии // Мед. техника. -1992. - №1. - С.3 – 8.
11. Сахарчук И.И., Денисенко Г.Т., Серебровская Т.В., Пищальенко А.Н. Использование установки „Гипотрон” в профилактике и лечении заболеваний внутренних органов в условиях радиационного загрязнения. Метод. рекомендации. - К., 1993. - 21 с.
12. Стрелков Р.Б. Нормобарическая гипоксия. Метод. рекомендации. - М., 1994. - 14 с.
13. Стрелков Р.Б., Чижов А.Я. Нормобарическая гипокситерапия и гипоксирadioтерапия. Метод. рекомендации. - М., 1998. - 22 с.
14. Стрелков Р.Б., Чижов А.Я., Малиновский В.Г., Малиновский О.В. Техническое обеспечение метода прерывистой нормобарической гипокситерапии (ПНГ). - В кн.: Оротерапия. Доклады академии проблем гипоксии. - Т. II. - К., 1998. - С.132 – 133.
15. Цыганова Т.Н., Егорова Е.Б. Интервальная гипоксическая тренировка в акушерской и гинекологической практике. Метод. рекомендации. - М., 1993. -11 с.
16. А.с. 1174043 МКИ А 61 М 16/00. Лицевая маска для создания гипоксии / Эпштейн И.М. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1985. - Бюл. №31.
17. А.с. 1335294, МКИ А 61 М 16/00. Дыхательный аппарат для создания гипоксии / Басович С.Н., Сергеев П.В., Стрелков Р.Б. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1987. - Бюл. №33.
18. А.с. 1456161, МКИ А 61 М 16/00. Устройство для дыхания гипоксическими смесями / Рейдерман Е.Н., Немеровский Л.И., Вайнсон А.А., Никитин В.В. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1989. - Бюл. №5.

19. А.с. 1526688, МКИ А 61 G 10/00. Устройство для климатотерапии / Березовский В. А., Дейнега В.Г., Журавленко В.Я., Рожанчук В.Н. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1989. - Бюл. №45.
20. А.с. 1526699, МКИ А 61 М 16/00. Дыхательный аппарат / Смирнов В. Ф., Каменев Е. А., Фельдфебелева Г. К. и др.(СССР) // Открытия. Изобрет. - 1989. - Бюл. №45.
21. А.с. 1599026, МКИ А 61 М 16/00. Дыхательный аппарат для гипокситерапии / Самойлов Ю. И., Стрелков Р.Б. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1990. - Бюл. №38.
22. А.с. 1607817, МКИ А 61 М 16/00. Устройство для лечения и профилактики органов дыхания и кровообращения / Е.Г. Зуев (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1990. - Бюл. №43.
23. А.с. 1801440, МКИ А 61 G 10/00. Устройство для климатотерапии / Березовский В. А., Рожанчук В.Н., Пух Н.Н., Левашов М. И. (СССР) // Открытия. Изобрет. - 1993. - Бюл. №10.
24. Патент на промисловий зразок UA 842, МКПЗ 24-01. Пристрій для індивідуальної аеротерапії гірським повітрям / Березовський В.Я., Левашов М.І. (Україна) // Промислова власність. - 1995. - Бюл. №2.
25. Патент UA 7168, МКВ А 61 G 10/00. Пристрій для климатотерапії / Березовський В. Я., Дейнега В. Г., Журавленко В. Я. (Україна) // Промислова власність. - 1995. - Бюл. №2.
26. Пат. 2040279, МКИ А 61 М 16/00. Аппарат для дыхания проф. Р. Б. Стрелкова / Стрелков Р.Б. (РФ) // Открытия. Изобрет. - 1995. - Бюл. №21.
27. Пат. 2070064, МКИ А 61 М 16/00. Дыхательный аппарат для создания гипоксии / Степанов С.Л. (РФ) // Открытия. Изобрет. - 1996. - Бюл. №34.
28. Пат. 2167677, МКИ А 61 М 16/00. Гипоксикатор / Щербакова Г. Н., Шнырев А.П., Ксенофотов М.И. (РФ) // Открытия. Изобрет. - 2001. - Бюл. №15.
29. Пат. 45082 А, МКВ А 61 М 16/00. Пристрій для дихання гіпоксичними сумішами ГПОТРОН / Сліпченко В.Г., Шульженко О.Ф., Денисенко Г.Т., Беленцов О.С., Лопата В. О., Сахарчук І. І. (Україна) // Промислова власність. - 2002. - Бюл. №3.

*ТОВ "Сенсорні системи", Київ;
Ин-т фізіології ім.О.О.Богомольця НАН України,
Київ*