

УДК 615.471.036:616

© В.А. Лопата, Т.В. Серебровская, 2012.

АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИПОКСИТЕРАПИИ

В.А. Лопата, Т.В. Серебровская*Института физиологии им. А.А. Богомольца НАНУ, отдел по изучению гипоксических состояний (зав. – проф. И.Н. Маньковская), г.Киев.*

EQUIPMENT FOR HYPOXYTHERAPY TECHNOLOGIES

V.A Lopata, T.V. Serebrovskaya

SUMMARY

On the basis of hypoxycators classification on principle of their action, the review of their constructions is presented, medical and technical requirements are summarized; the prospects of development and further improvement of devices for intermittent hypoxia training (IHT) are emphasized.

АППАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГІПОКСИТЕРАПІЇ

В.О. Лопата, Т.В. Серебровська

РЕЗЮМЕ

Наведена класифікація апаратури для гіпокситерапії, виконано огляд конструкцій та узагальнені медико-технічні вимоги до апаратів, визначені перспективи розвитку та удосконалення апаратів для гіпоксичної стимуляції організму людини.

Ключевые слова: гипоксикатор, интервальная гипоксическая тренировка.

Как показали многолетние исследования, гипоксический стимул в известных пределах активизирует деятельность жизненно важных систем организма. Это свойство гипоксии в настоящее время широко используется с целью повышения уровня неспецифической резистентности для реабилитации и лечения пациентов с патологией дыхательной и сердечно-сосудистой систем, анемий, некоторых психических нарушений, для подготовки человека к работе в сложных условиях, а также для повышения спортивных результатов. Поскольку наиболее естественным гипоксическим стимулом были подъем в горы или его имитация [13], то первым методом его применения в практике стала гипобарическая гипокситерапия.

Основополагающие исследования влияния гипоксии нормобарической гипокситерапии на организм человека были проведены еще в 1930-40-ых годах специалистами авиационной медицины, разработавшими методики гипоксической тренировки [3, 17].

Широкие клинические испытания, выполненные в 1970-1980-х годах [5, 11], показали протекторное действие таких тренировок при лучевой терапии злокачественных опухолей, в акушерско-гинекологической практике, при лечении профзаболеваний. В дальнейшем был доказан положительный эффект тренировок в кардиологии, эндокринологии, педиатрической практике, спортивной медицине. При этом использовались как групповые методы тренировок в специально оборудованных климатических камерах с подачей в них гипоксической газовой смеси (ГГС), так и индивидуальные аппараты (гипоксикаторы), с

помощью которых проводятся кратковременные (5-10 мин) сеансы гипоксии с периодами дыхания атмосферным воздухом – так называемые интервальные гипоксические тренировки (ИГТ) [1, 2, 6, 7, 19-21].

Оптимальное сочетание физиологического обоснования метода, режимов его клинического применения и аппаратуры, реализующей эти режимы, составляет технологию ИГТ. К сожалению, в специальной физиологической и медицинской литературе аппаратному обеспечению ИГТ уделяется недостаточно внимания, и наша статья имеет своей целью обратить внимание специалистов на этот аспект технологии.

Гипоксикаторы, предназначенные для формирования и подачи пациенту ГГС контролируемого состава, отличаются разнообразием принципиальных решений, определяющим их классификацию (рис.1) по трём критериям [8]: методы подачи ГГС; методы формирования ГГС; методы регулирования и поддержания состава ГГС.

Масочный метод предусматривает наличие в гипоксикаторе циркуляционного контура, содержащего лицевую маску пациента с клапанами вдоха и выдоха, и включенную в линию вдоха буферную ёмкость для ГГС.

При камерном методе подачи тело пациента или его голова размещаются в камере, соединенной с блоком формирования ГГС. Такие камеры могут быть либо герметичными (глухими), заполняемыми ГГС, либо негерметичными (проточными), через которые ГГС продувается [1], а камерные гипоксикаторы выполняются в виде многоместных

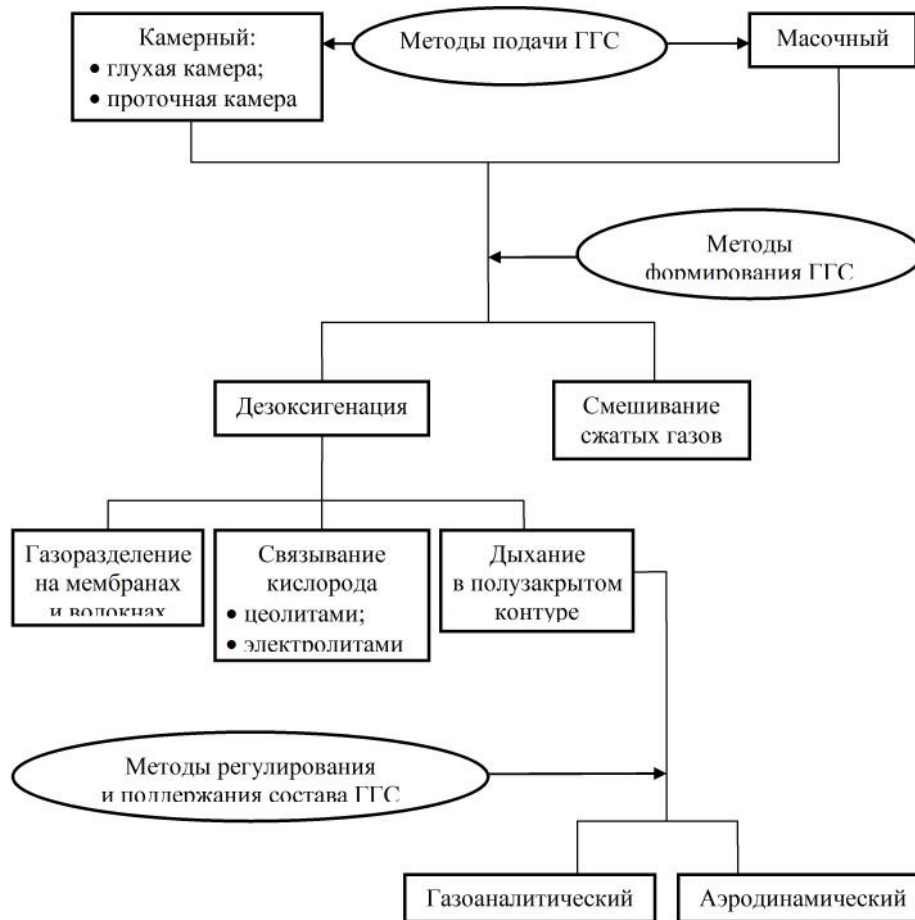


Рис.1. Классификационная схема гипоксикаторов.

стационарных установок, комнат, переносных тентов, а также передвижных аппаратов.

По методу формирования ГГС гипоксикаторы разделяются на две группы. В аппаратах первой группы смесь формируется из сжатых или сжиженных газов, что возможно либо эжекцией атмосферного воздуха потоком сжатого азота в соотношении 1:1, либо прямой подачей смеси стабильного состава из баллона [9]. Такие аппараты именуется также генераторными.

При известных технологических преимуществах [6, 9], метод прямой подачи ГГС связан с риском использования сосудов под давлением 12-15 мПа [8] и требует регулярной дорогостоящей аттестации состава смеси. Для безопасности в современных конструкциях применяется буферная ёмкость [10].

Вторая группа гипоксикаторов формирует ГГС из атмосферного воздуха методом дезоксигенации, которая может осуществляться: газоразделением на мембранах или волокнах [9], разделением кислорода и азота твердыми электролитами [1], временным связыванием азота цеолитами с последующей отдачей его в смесь [8], дыханием в полужакрытом циркуляционном контуре гипоксикатора (возвратным дыханием) [10]. Методы газоразделения

и дыхания в полужакрытом контуре используются в большинстве современных серийно производимых гипоксикаторов. Скорость процесса перехода молекул кислорода через плоскую мембрану или пакет пустотелых волокон зависит от площади контакта с газом и перепада давления на ней, достигающего 0,4 мПа для обеспечения необходимой производительности гипоксикатора (12-15 л/мин) [10]. Заданные условия требуют включения в состав гипоксикаторов компрессоров, способных развивать достаточно высокие давление и производительность при низком уровне шума, не используя поршневых устройств (во избежание загрязнения масляным аэрозолем газоразделительных мембран и формируемой ГГС).

Высокая стоимость таких аппаратов из-за необходимого наличия компрессора, газоанализатора и системы регулирования уровня кислорода в смеси нивелируется возможностью одновременного обслуживания до 8 пациентов [18].

Среди широкой номенклатуры гипоксикаторов выделяется группа устройств, реализующих режим возвратного дыхания в полужакрытом циркуляционном контуре. В этих устройствах, обозначенных термином «автогипоксикатор» [10],

линия выдоха содержит абсорбер углекислого газа, а контур связан с атмосферой через жесткую или эластичную буферную емкость. Процесс формирования ГГС при этом происходит под воздействием трех факторов: потребления кислорода пациентом, связывания углекислого газа и поступления в контур порций атмосферного воздуха на вдохе. Такой процесс обеспечивает режим постепенного снижения концентрации кислорода, весьма эффективный для тренировок спортсменов и применения в домашних условиях [18]. В случае жесткой буферной емкости, многократно превышающей дыхательный объем и имеющей выход в атмосферу, в процессе дыхания одновременно происходят дезоксигенация газовой смеси и ее оксигенация атмосферным воздухом [10].

Автогипоксикатор с эластичной буферной емкостью отличается определенными особенностями процесса создания ГГС, зависящего от параметров дыхания пациента и технических характеристик устройства. Существенное достоинство такой схемы - возможность использовать емкость в качестве спирометра для контроля процесса вентиляции легких пациента. Эта возможность реализуется введением в контур линий подачи кислорода и контроля его содержания, а также измерителя объема емкости [9].

Эволюция автогипоксикаторов направлена на снижение массогабаритных характеристик конструкций и обеспечение безопасности их применения регулированием и поддержанием состава ГГС в контуре газоаналитическим или аэродинамическим методами.

Газоаналитический метод предусматривает применение газоанализатора кислорода с системой продувки контура при достижении критического нижнего уровня содержания кислорода в ГГС [8,9]. Оснащение гипоксикатора газоанализатором кислорода и пульсоксиметром обеспечивает управление режимом тренировки, а при циклическом подключении аппарата к газоанализатору возможно оборудование многоместного кабинета ИГТ на базе одного газоанализатора [10].

Разнообразны конструкции, регулирующие и поддерживающие состав ГГС аэродинамическими сопротивлениями, связывающими буферную емкость с атмосферой [9]. Соотношение величин сопротивлений, постоянное или регулируемое, позволяет поддерживать состав ГГС в необходимом диапазоне. В качестве сопротивлений используются калиброванные отверстия диафрагм или сменных заглушек, золотниковый распределитель потоков, перемещаемые заслонки, изменение сечения магистрали, связывающей циркуляционный контур с атмосферой.

Достоинства автогипоксикаторов – простота

конструкции, минимальные габариты и масса, удобство применения - являются одновременно и причиной недостатков: невозможность точного регулирования концентрации кислорода в ГГС и необходимость смены абсорбента после каждого сеанса.

Автогипоксикаторы предусматривают, в зависимости от антропометрических параметров и состояния функции дыхания пациента, регулирование исходного объема буферной емкости [2,21].

Современные гипоксикаторы в достаточной степени насыщены метрологическими каналами и микропроцессорной техникой, однако в подавляющем большинстве случаев это относится к устройствам генераторного типа [4]. Что же касается автогипоксикаторов, то в лучшем случае они снабжаются газоанализатором кислорода и измерителем объемной скорости воздушного потока [9]. Поэтому основная тенденция совершенствования автогипоксикаторов - введение обратной связи по параметру насыщения артериальной крови пациента кислородом [6, 21], - предполагает разработку новых принципиальных схем, в состав которых должны входить: устройства мониторинга показателей функции дыхания и сердечно-сосудистой системы; микропроцессорная система контроля и управления процессом ИГТ.

Определяя области предпочтительного применения гипоксикаторов, можно отметить, что автогипоксикаторы удобны практически во всех условиях эксплуатации, начиная с индивидуального использования; эжекционные аппараты наиболее подходят для использования в учреждениях с возможностью постоянного снабжения сжатым азотом; газоразделительные установки пригодны для стационаров при отсутствии такого снабжения [10].

Исходя из методических рекомендаций применения [7, 12, 14, 16] и условий обеспечения комфортности дыхания пациента ГГС, основные параметры и свойства рассмотренных типов гипоксикаторов должны определяться следующими нормативами [8]:

1. Содержание кислорода в формируемой ГГС: от 8 до 16 об. %.
2. Сопротивление дыханию циркуляционного контура: не более 150 Па·с/л.
3. Производительность по ГГС на одного пациента: от 9 до 20 л/мин.
4. Пределы погрешности измерения содержания кислорода в ГГС: $\pm 0,5$ об. %.
5. Избыточное давление на входе в блок формирования ГГС: 0,1 - 0,5 мПа.
6. Избыточное давление ГГС на выходе из блока формирования смеси: 0,002 - 0,005 мПа.
7. Превышение относительной влажности ГГС

над относительной влажностью атмосферного воздуха: не менее 5%.

8. Наличие тревожной сигнализации по пороговым уровням: содержания кислорода в ГГС, производительности ГГС, насыщения артериальной крови пациента кислородом, частоты сердечных сокращений.

9. Обеспечение минутной вентиляции пациента в пределах от 3 до 40 л/мин.

Весь комплекс сформулированных медико-технических требований может быть предъявлен к наиболее сложным и многофункциональным устройствам для проведения ИГТ, но в любом случае при разработке гипоксикаторов необходимо соблюдать требования 1-3 и 9.

Дальнейшему совершенствованию аппаратуры гипокситерапии должны способствовать: разработка методов индивидуального подбора режимов ИГТ и способов их реализации; совершенствование методов газоанализа ГГС в целях более точного поддержания ее состава; объединение процесса ИГТ с диагностикой состояния функции дыхания, что потребует включения в состав гипоксикаторов спирометрических измерительных каналов; ужесточение медико-технических требований к аппаратам по критериям величины сопротивления циркуляционного контура дыханию, допустимой погрешности определения содержания кислорода в ГГС, безопасности применения; стандартизация медико-технических требований к аппаратурному и программному обеспечению гипокситерапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березовский В.А., Левашов М.И. Введение в оротерапию (Второе переработанное и дополненное издание). – К.: Изд-во АПП, 2000. - 76 с.
2. Вибір оптимальних режимів для проведення інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань у медичній практиці та спортивній медицині (методичні рекомендації) // Коркушко О.В., Серебровська Т.В., Шатило В.Б., Ішук В.О., Лопата В.О. К.: 2010. – 30 с.
3. Голубов Н.Н. Повышение выносливости к аноксемии путём дыхания газовыми смесями, бедными кислородом // Воен.-сан. дело. – 1939. – Вып. 1. – С. 42-44.
4. Калакутский Л.И., Поляков В.А. Аппаратура для терапии в условиях гиперкапнической гипоксии / <http://eliman.ru/Lit/may96.html>.
5. Караш Ю.М., Стрелков Р.Б., Чижов А.Я. Нормобарическая гипоксия в лечении, профилактике и реабилитации. М.: Медицина, 1998. – 352 с.
6. Колчинская А., Хацуков Б., Закусило М. Кислородная недостаточность – деструктивное и конструктивное действие. – Нальчик, 1999. - 208 с.
7. Коркушко О.В., Шатило В.Б., Ішук В.О., Асанов Е.О., Сліпченко В.Г. Застосування гіпоксичних

тренувань в геріатричній практиці методичні рекомендації. – К.: 2008. – 24 с.

8. Лопата В.О., Березовський В.Я., Левашов М.І., Киенко В.М. Класифікація та огляд засобів гіпокситерапії. – Фізіол. журнал. – 2003. – Т.49, №2. – С.100-105.

9. В.А. Лопата, Т.В. Серебровская. Гипоксикаторы: обзор принципов действия и конструкций. – Буковинський медичний вісник. – 2011. – Т. 15, №3 (59). – С. 217-226

10. Немеровский Л.И. Принципы построения аппаратуры для прерывистой нормобарической гипоксии. - Мед. техника, 1992, №1. – С.3-8.

11. Оротерапия. Доклады академии проблем гипоксии, т.П. К.: Логос, 1998. – 151 с.

12. Сахарчук И.И., Денисенко Г.Т., Серебровская Т.В., Пищальченко А.Н. Использование установки «Гипотрон» в профилактике и лечении заболеваний внутренних органов в условиях радиационного загрязнения. Методические рекомендации. К.: 1993. - 21 с.

13. Сиротинін М.М. Життя на висотах і хвороба висоти. К.: Вид. АН УРСР, 1939. – 225 с.

14. Стрелков Р.Б. Нормобарическая гипоксия. Методические рекомендации. М.: 1994. - 14 с.

15. Стрелков Р.Б., Чижов А.Я. Нормобарическая гипокситерапия и гипоксирадиотерапия. М.: 1998.- 22 с.

16. Цыганова Т.Н., Егорова Е.Б. Интервальная гипоксическая тренировка в акушерской и гинекологической практике. Методические рекомендации. М.: 1993. - 11 с.

17. Armstrong H.G. Principles and Practices of Aviation Medicine. Baltimore: Williams & Wilkins Co., 1939, 453 p.

18. Bassovitch O. and Serebrovskaya T. Equipment and Regimes for Intermittent Hypoxia Therapy. In: Intermittent Hypoxia: From Molecular Mechanisms to Clinical Applications/. Editors: Lei Xi & Tatiana V. Serebrovskaya/ Nova Science Publishers, 2009, Chapter 30: 539-601.

19. Lei Xi & Tatiana V. Serebrovskaya (Editors). Intermittent Hypoxia: From Molecular Mechanisms to Clinical Applications / Nova Science Publishers, Inc., 400 Oser Avenue, Suite 1600, Hauppauge, NY 11788, 2009, 602 pp.

20. Serebrovskaya T.V. Intermittent Hypoxia Research in the Former Soviet Union and the Commonwealth of Independent States (CIS): History and Review of the Concept and Selected Applications. High Altitude Medicine & Biology, 2002, v.3, #2, 205-221.

21. Serebrovskaya T.V. and Lei Xi . Individualized Intermittent Hypoxia Training: Principles and Practices. In: Lei Xi & Tatiana V. Serebrovskaya (Eds). Intermittent Hypoxia and Human Diseases / Springer, UK, 2012, Chapter 24.