

УДК 612.223.1

Е. В. Розова

ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И ГАЗООБМЕНА ОРГАНИЗМА ПРИ ДЫХАНИИ ГЕЛИЕВО-КИСЛОРОДНЫМИ СМЕСЯМИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КИСЛОРОДА

Известно, что транспорт кислорода в легких связан со многими факторами, одним из которых являются сопутствующие недыхательные газы, влияющие на доставку O_2 в организм. Важность изучения их воздействия связана с тем, что в настоящее время в клинической практике, в физиологическом эксперименте, при проведении специального рода работ применяются газовые смеси пониженной плотности, в которых азот воздуха заменяется гелием [3, 10 и др.]. Однако в литературе нет единого мнения по поводу целесообразности применения подобных смесей в каждом конкретном случае и данные о влиянии гелиево-кислородных газовых смесей на биохимические процессы в живом организме [11, 20], на особенности терморегуляции [7, 16] и на функционирование системы внешнего дыхания и газообмена организма в этих условиях [1, 6, 15] противоречивы.

Мы изучали влияние газовых смесей пониженной плотности с различным содержанием кислорода в условиях нормобарии на внешнее дыхание, газообмен и транспорт кислорода в легких у здоровых людей среднего возраста.

Методика исследований

Обследовано 90 здоровых людей в положении лежа, в состоянии покоя, которые через клапанную маску дышали атмосферным воздухом, а также газовыми смесями следующего состава: I—21 % O_2 +He; II—14,5 % O_2 +He; 14,5 % O_2 + N_2 ; III—11 % O_2 +He; 11 % O_2 + N_2 ; IV—40 % O_2 +He, 40 % O_2 + N_2 . Длительность экспозиции каждой газовой смеси составляла 15 мин. В ходе исследований производили непрерывную регистрацию частоты дыхания (f), минутного объема дыхания ($\dot{V}_E$). Состав выдыхаемого и альвеолярного газов анализировали с помощью оксиганализатора ММГ-7, газоанализатора ГУМ-2, масс-спектрометра МХ-6202. В последующем рассчитывали общепринятыми способами [4] основные параметры, характеризующие деятельность системы дыхания и газообмен организма. Оценивали эффективную площадь поверхности газообмена (S) [2]. В исходном состоянии, а также на высоте экспозиции каждой газовой смеси брали пробы артериализованной крови, в которой определяли Pa_{O_2} с помощью полярографической установки P_{O_2} электродом типа Е 5046 фирмы «Радиометр» (Дания).

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования позволили выявить ряд закономерностей влияния He— O_2 смесей на внешнее дыхание, газообмен и транспорт кислорода в легких в здоровом организме.

Прежде всего необходимо отметить наличие вентиляторной реакции на замену азота в дыхательных газовых смесях гелием (рис. 1.).

В нормоксических условиях при практически неизменной f отмечено снижение $\dot{V}_E$, достигающее в среднем 10—15 %, что привело к уменьшению легочной вентиляции (рис. 1). Эти результаты согласуются с существующим мнением [9] о том, что при снижении плотности вдыхаемой газовой смеси более поверхностное и даже учащенное дыхание является, по-видимому, экономичнее. Наряду с этим выявлено достоверное уменьшение физиологического мертвого дыхательного пространства

(V_D) — мак-
сколько бол-
вует об улу-
Эти резуль-
благодаря б-
и более лег-
проникать в

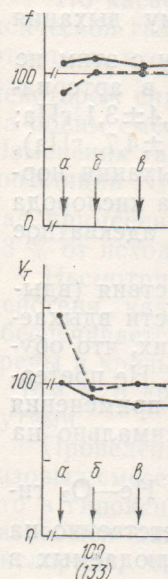


Рис. 1. Измене-
дыхания ($\dot{V}_E$)
в % от исходн

Рис. 2. Измене-
личия при

более интен-
данные не д-
жении плотн-
уменьшаться
высокого ко-
транспорта и

Газообм-
мыми нормо-

данные отно-
разноречивы
занного пара-
нением тепло-
если учесть,
то роль фак-

ными будут

В наших и

вполне объ-
значительно

частично так

(V_D) — максимально с $0,230 \pm 0,020$ до $0,165 \pm 0,011$ л, т. е. на 28 %, несколько более выраженное, чем снижение V_T (рис. 1), что свидетельствует об улучшении доставки кислорода к респираторной зоне легких. Эти результаты согласуются с данными литературы о том, что гелий, благодаря большей, по сравнению с азотом, диффузионной способности и более легкой смешиваемости в дыхательных путях, способен легче проникать в респираторные отделы легких, способствуя, по-видимому,

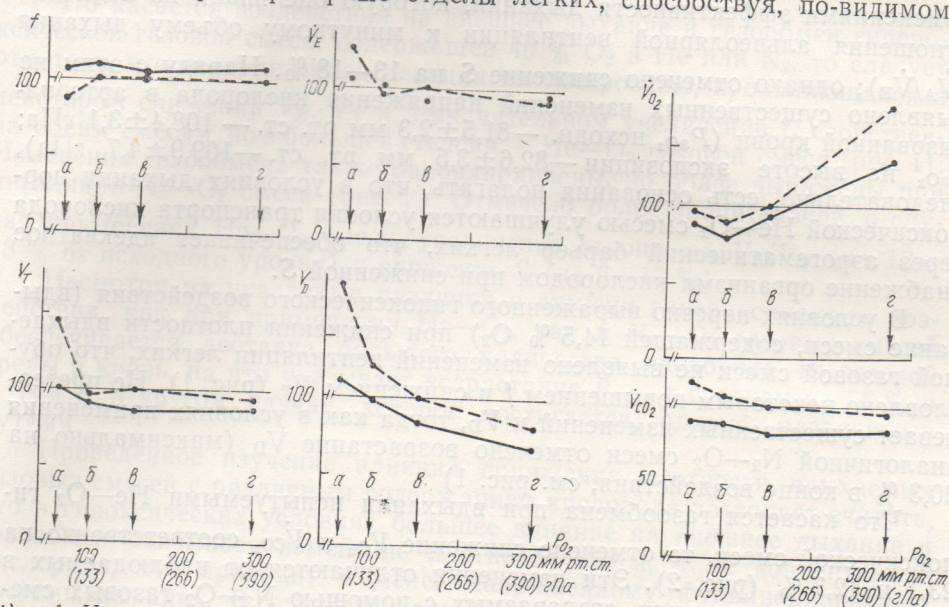


Рис. 1. Изменения частоты дыхания (f), дыхательного объема (V_T) минутного объема дыхания ($\dot{V}_E$) и физиологического мертвого дыхательного пространства (V_D) в % от исходных величин при дыхании $\text{He}-\text{O}_2$ (сплошная линия) и N_2-O_2 (штриховая линия) смесями с различным содержанием O_2 .
а — 11 %, б — 14,5 %, в — 21 %, г — 40 % O_2 .

Рис. 2. Изменения потребления O_2 ($\dot{V}_{\text{O}_2}$) и выделения CO_2 ($\dot{V}_{\text{CO}_2}$) в % от исходных величин при дыхании $\text{He}-\text{O}_2$ и N_2-O_2 смесями с различным содержанием O_2 .
Условные обозначения см. рис. 1.

более интенсивной доставке кислорода [14, 19]. Следовательно, наши данные не дают основания разделять точку зрения о том, что при снижении плотности вдыхаемой газовой смеси в дыхательных путях будет уменьшаться осевая и увеличиваться радиальная диффузия вследствие высокого коэффициента диффузии O_2 в He и снижение эффективности транспорта кислорода [13, 18].

Газообмен также претерпевает изменения при вдыхании испытуемыми нормоксической газовой $\text{He}-\text{O}_2$ смеси. Имеющиеся в литературе данные относительно изменений потребления кислорода ($\dot{V}_{\text{O}_2}$) довольно разноречивы. Некоторые исследователи обнаруживали возрастание указанного параметра, которое объясняли увеличением теплопотери и изменением теплопродукции организмом в данных условиях [8, 17]. Однако, если учесть, что потеря тепла с воздухом у людей крайне невелика [12], то роль фактора теплопроводности сводится к минимуму, и естественными будут изменения $\dot{V}_{\text{O}_2}$, объясняемые сдвигами вентиляции легких. В наших исследованиях обнаружено незначительное снижение $\dot{V}_{\text{O}_2}$, вполне объяснимое уменьшением $\dot{V}_E$ (рис 2). Кроме того, выявлено значительное (на 15–20 %) снижение выделения CO_2 ($\dot{V}_{\text{CO}_2}$), которое частично также можно связать со снижением $\dot{V}_E$, а частично, вероятно,

с более благоприятными условиями удаления CO_2 из организма при дыхании He-O_2 смесями [3, 10] и, возможно, с метаболическими изменениями. Необходимо сразу подчеркнуть, что подобное снижение $\dot{V}_{\text{CO}_2}$ в большей или меньшей степени характерно для всех применяемых в наших исследованиях газовых смесей.

Указанные отличия вентиляции и газообмена не сопровождались изменениями эффективности дыхания, которую оценивали по величине отношения альвеолярной вентиляции к минутному объему дыхания ($\dot{V}_A/\dot{V}_E$); однако отмечено снижение S на 13—18 %. Наряду с этим не выявлено существенных изменений напряжения кислорода в артериализованной крови (P_{aO_2} исходн. — $81,5 \pm 2,3$ мм рт. ст. — $108,4 \pm 3,1$ гПа; P_{aO_2} на высоте экспозиции — $82,6 \pm 3,5$ мм рт. ст. — $109,9 \pm 4,7$ гПа), следовательно, есть основания полагать, что в условиях дыхания нормоксической He-O_2 смесью улучшаются условия транспорта кислорода через аэрогематический барьер легких, что обеспечивает адекватное снабжение организма кислородом при сниженной S .

В условиях нерезко выраженного гипоксического воздействия (вдыхание смеси, содержащей 14,5 % O_2) при снижении плотности вдыхаемой газовой смеси не выявлено изменений вентиляции легких, что обусловлено некоторым повышением f и снижением V_T (рис. 1). Не претерпевает существенных изменений и V_D , тогда как в условиях применения аналогичной $\text{N}_2\text{-O}_2$ смеси отмечено возрастание V_D (максимально на 20,3 % в конце воздействия, см. рис. 1).

Что касается газообмена при вдыхании испытуемыми He-O_2 гипоксической смеси, то отмечено снижение $\dot{V}_{\text{O}_2}$ и $\dot{V}_{\text{CO}_2}$ соответственно на 23,1 и 12,7 % (рис. 2). Эти изменения отличаются от наблюдаемых в гипоксических условиях, создаваемых с помощью $\text{N}_2\text{-O}_2$ газовых смесей [5], что совпадает с результатами наших исследований: незначительное снижение $\dot{V}_{\text{O}_2}$ и тенденция к увеличению $\dot{V}_{\text{CO}_2}$ (рис. 2).

Следует указать также на отсутствие существенных изменений со стороны эффективности внешнего дыхания и снижение (в среднем на 8,8 %) S , практически аналогичные для обеих смесей.

Таким образом, при умеренном гипоксическом воздействии существенные различия в реакции системы дыхания на изменение плотности вдыхаемой газовой смеси проявляются преимущественно со стороны газообмена и в меньшей степени — в вентиляторной реакции.

Иная картина наблюдается при более резкой гипоксической гипоксии, создаваемой с помощью смеси, содержащей 11 % O_2 . В то время как при вдыхании $\text{N}_2\text{-O}_2$ смеси наблюдается резкое (на 21—24 %) возрастание $\dot{V}_E$ за счет увеличения V_T (на 41—44 %) при некотором снижении f (в среднем на 15 %), что является характерной реакцией здорового организма на острую гипоксическую гипоксию [5], в условиях пониженной плотности газовой смеси существенных изменений со стороны вентиляции легких не отмечено (рис. 1). Не выявлено также ощутимых изменений V_D (при ингаляции $\text{N}_2\text{-O}_2$ смеси указанный параметр возрастает на 68 % по сравнению с исходным уровнем (см. рис. 1)).

Вдыхание He-O_2 смеси, аналогично воздействию $\text{N}_2\text{-O}_2$ смеси, сопровождается снижением на 10—17 % $\dot{V}_{\text{O}_2}$ и, свойственным лишь He-O_2 смесям, уменьшением $\dot{V}_{\text{CO}_2}$, достигающим 8—12 % (рис. 2).

Несмотря на незначительное снижение S (в среднем на 7 %), при возрастании ее под влиянием $\text{N}_2\text{-O}_2$ смеси на 17—19 %, снабжение организма кислородом не ухудшалось по сравнению с условиями применения азотно-кислородной гипоксической смеси, о чем свидетельствуют практически одинаковые в обоих случаях величины P_{aO_2} : $48,4 \pm 1,3$ мм рт. ст. ($64,4 \pm 1,7$ гПа) при гелиево-кислородном воздей-

ствии и 47,7 % $\text{N}_2\text{-O}_2$.

Проведение в условиях острой газовой гипоксии, напряженно, организм адаптируется.

Что касается кислоческой газовой смеси, то отметить, что

некотором снижении на обоих смесях. Изменения газовой ингаляции N_2

чае применения 13 % от исходного

Несмотря на действия, как обеспечивается среды в крови в том и в других путях.

Проведение газовых смесей, что в гипоксических условиях газообмен оказывается кислородом, что системы дыхания газовой смеси, рода в легких, лородом даже повышении концентрации, имущественно играет роль в ослаблении ги

PECULIARITIES OF THE OXYGEN MIX

It was studied the effect of different oxygen amount in healthy people on external respiration rate, density but not on functioning of respiratory system. The density of expired air was lower in lungs even under the lowered density of hyperoxia effect.

The A. A. Bogomolev Academy of Science

при изменении $\dot{V}_{CO_2}$ в 1,7 раз, что соответствует изменению $\dot{V}_E$ на 47,7 ± 1,7 мм рт. ст. (63,4 ± 2,3 гПа) при применении смеси N_2-O_2 .

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что в условиях острой гипоксической гипоксии при понижении плотности вдыхаемой газовой смеси система внешнего дыхания функционирует менее напряженно, обеспечивая при этом достаточное снабжение кислородом организма здорового человека.

Что касается воздействия на внешнее дыхание и газообмен гипероксической газовой смеси, содержащей 40 % O_2 в He или N_2 , то следует отметить, что вентиляторная реакция на гипероксию, проявляющаяся в некотором снижении $\dot{V}_E$, V_T и незначительном увеличении f , свойственна обеим смесям, но в большей степени — He- O_2 газовой смеси (рис. 1). Изменения газообмена также однонаправлены, но более выражены при ингаляции N_2-O_2 смеси (рис. 2). Отмечено более значительное, в случае применения He- O_2 смеси, увеличение отношения $\dot{V}_A/\dot{V}_E$ (на 12—13 % от исходного уровня) и снижение S (на 6—18 %).

Несмотря на указанные различия в степени гипероксического воздействия, как при применении He- O_2 , так и N_2-O_2 газовых смесей обеспечивается доставка большего количества кислорода из газовой среды в кровь, на что указывает возрастание P_{aO_2} в среднем на 68 % и в том и в другом случае, которое достигается, однако, различными путями.

Проведенное изучение влияния понижения плотности вдыхаемых газовых смесей с различным содержанием кислорода позволяет считать, что в гипоксических условиях большее влияние на внешнее дыхание и газообмен оказывает изменение плотности смеси, а не концентрация кислорода, что приводит к менее напряженному функционированию системы дыхания. В условиях нормоксии снижение плотности вдыхаемой газовой смеси способствует улучшению условий транспорта кислорода в легких, обеспечивающее адекватное снабжение организма кислородом даже при измененном режиме вентиляции и газообмена. При повышении концентрации кислорода во вдыхаемой газовой смеси преимущественно проявляется эффект гипероксии, и меньшую роль начинает играть пониженная плотность, способствуя лишь усилению или ослаблению гипероксического воздействия.

Е. В. Розова

PECULIARITIES OF EXTERNAL RESPIRATION AND GAS METABOLISM OF THE ORGANISM UNDER RESPIRATION WITH HELIUM-OXYGEN MIXTURES CONTAINING VARIOUS OXYGEN AMOUNT

Summary

It was studied how the decrease in the density of expired gas mixtures with various oxygen amount influences the system of external respiration and gas metabolism in healthy people of the middle age. It is shown that under the hypoxic conditions the external respiration and gas metabolism are greatly affected by the change in the mixture density but not by oxygen concentration, and this brings about the less stressed functioning of respiratory system. Under the normoxic conditions the decrease of the density of expired gas mixture promotes the improvement of oxygen transport in the lungs even under changed ventilation and gas metabolism conditions. When oxygen concentration in the mixture increases the hyperoxia effect is mainly manifested and the lowered density plays the less role and favours only strengthening or weakening of hyperoxia effect.

The A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev

Список литературы

1. Брянцева Л. А., Осипова М. М. Внешнее дыхание и газообмен у кроликов при замещении азота воздуха гелием в условиях гипоксии.— В кн.: Тез. симпози. «Функция внешнего дыхания в измененной газовой среде». Л., 1971, с. 37—38.
2. Вейбель Э. Р. Морфометрия легких человека.— М.: Медицина, 1970.— 176 с.
3. Исаев Г. Г., Погодин М. А., Хвалибова Р. И. Регуляция механики дыхания и легочной вентиляции человека при изменении сопротивления дыханию и мышечной деятельности.— В кн.: Человек и животные в гипербарических условиях: Функцион. состояние организма и пути повышения его резистентности. Л.: Наука, 1980, с. 21—27.
4. Лауэр Н. В., Колчинская А. З. О кислородном режиме организма.— В кн.: Кислородный режим организма и его регулирование. Киев: Наук. думка, 1966, с. 3—15.
5. Малкин В. Б. Острая гипоксия.— В кн.: Адаптация человека к экстремальным условиям среды. М.: Наука, 1979, с. 333—405.
6. Покровский Г. А., Костылев Е. Г., Ильшева Г. Н., Карпова Л. Е. О состоянии некоторых показателей каликреин-кининовой системы у человека во время искусственной вентиляции гелий-кислородной смесью в условиях общей анестезии.— Анестезиология и реаниматология, 1980, № 3, с. 33—34.
7. Слепчук Н. А., Румянцев Г. В., Константинов В. А. Терморегуляция у кролика в условиях гелио-кислородной среды.— Физиол. журн. СССР, 1977, 63, № 6, с. 904—909.
8. Трошихин Г. В. Газообмен и электрическая активность скелетной мускулатуры животных в гелио-кислородной среде.— Пробл. косм. биологии, 1971, 16, с. 137—143.
9. Хвалибова Р. И. Вентиляторные реакции человека на гипоксию и гиперкапнию в условиях пониженного сопротивления дыханию.— Физиол. журн. СССР, 1967, 62, № 7, с. 1024—1027.
10. Ar. A., Visschedijk A. H. R., Rahn H., Piiper J. Carbon dioxide in the chick embryo towards end of development: Effects of He and SF₆ in breathing mixture.— Respirat. Physiol., 1980, 40, N 3, p. 293—307.
11. Cook S., Frank E. S., Jr. Helium and comparative in vitro metabolism of mouse—tissue slices.— Amer. J. Physiol., 1957, 173, N 3, p. 542—544.
12. Leon H. A., Cook S. F. A mechanism by which helium increases metabolism in small mammals.— Amer. J. Physiol., 1960, 199, N 2, p. 243—245.
13. Mazzone R. W., Modell H. I., Farhi L. E. Interaction of convection and diffusion in pulmonary gas transport.— Respirat. Physiol., 1976, 28, N 2, p. 217—225.
14. Modell H. I., Farhi L. E. Ternary gas diffusion— in vitro studies.— Respirat. Physiol., 1976, 27, N 1, p. 65—71.
15. Nixon W., Pack A. Effect of altered gas diffusivity on alveolar gas exchange—a theoretical study.— J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. and Exercise Physiol., 1980, 48, N 1, p. 147—153.
16. Robertson W. G., Zeft H. J., Behar V. S., Weech B. E. Observation on man in an oxygen—helium environment at 380 mm Hg total pressure: II. Respiratory.— Aersp. Med., 1966, 37, N 5, p. 453—456.
17. Saltzman H. A., Salzano J. V., Blenkarn G. D., Kylstra I. A. Effect of pressure on ventilation and gas exchange in man.— J. Appl. Physiol., 1971, 30, N 4, p. 443—449.
18. Van Liew H. B., Mazzone R. W. Penetration of fresh gas through a tube and radial diffusion in the flow stream.— Fed. Proc., 1976, 35, N 4, p. 477.
19. Worth H., Adaro F., Piiper J. Penetration of inhaled He and SF₆ into alveolar space at low tidal volumes.— J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. and Exercise Physiol., 1977, 43, N 3, p. 403—408.
20. Wright R. A., Lesser M. A., Weiss H. S. Metabolism and x-Ray sensitivity of chick embryos incubated in a Helium-Oxygen Atmosphere.— Aersp. Med., 1964, 35, N 3, p. 284.

Отдел физиологии дыхания
Института физиологии
им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев

Поступила в редакцию
12.VI 1981 г.

УДК 612.223.1

Суммарный логический эффект от того, что Непрямого действия тальные подтвлогические и своих выводах В ходе этих оказывающими ства гелия (онность). В част Исследования вают существо дыхательной я роста потребл гелий по отно лозис цитопла о том, что Неп клеточные мем весом инертнон Мы изучаю ночной клетки напряжению и потоку кислоро

Икринка вык исследований кислородных сред выюна гонадотроп состава: NaCl—60 пользовали неопл мента попадания теллиновое простр растворе, уравни В экспериме галась в центре г Объем камеры (1 образом, чтобы с времени (менее 3 пающие в камеру подачи газа микро вора, насыщаемы гелиево-кислородн кислородная сред родный раствор (зительно 12 % О₂ тов икринка могла Напряжение кисл Кларка в средней