

УДК 616.152.21-053.9-08:615.825

*О.В.Коркушко, Э.О.Асанов, А.В.Писарук, Н.Д.Чеботарев***УСТОЙЧИВОСТЬ К ГИПОКСИИ В ПОЖИЛОМ ВОЗРАСТЕ  
И ФАКТОРЫ, ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ**

Государственное учреждение «Институт геронтологии НАМН Украины им. акад. Д.Ф.Чеботарева», г. Киев

**Резюме.** Изучены факторы, определяющие снижение устойчивости организма к гипоксии при старении. Обследованы практически здоровые люди в возрасте от 20 до 79 лет (по 16 чел. в каждом десятилетии).

Показано, что снижение устойчивости организма к гипоксии при старении обусловлено снижением эффективности функционирования системы внешнего

дыхания, легочного газообмена и сердечно-сосудистой системы в условиях гипоксии. Это приводит к накоплению лактата и угнетению тканевого дыхания при гипоксии у пожилых людей.

**Ключевые слова:** устойчивость к гипоксии, вентиляция, гемодинамика, старение.

**Введение.** Гипоксия определяется как патологический процесс, возникающий в результате недостаточного снабжения тканей кислородом или нарушения использования его тканями [2, 5, 7, 8]. В клинической медицине считается общепризнанной решающая роль гипоксии как в возникновении, так и в течении многих заболеваний, поскольку любое патологическое состояние, прямо или косвенно, связано с нарушением кислородного режима организма [2-5, 7, 8, 10].

Доставка кислорода в организм зависит от: содержания кислорода во вдыхаемом воздухе; вентиляции альвеол; условий диффузии кислорода через стенку альвеол; кровоснабжения стенок альвеол; скорости сатурации гемоглобина крови кислородом; формы и положения кривой диссоциации оксигемоглобина; скорости кровотока в капиллярах альвеол; скорости кровотока (эритроцитов) в микрососудах; количества эритроцитов, находящихся в единицу времени в единице длины (объема) микрососудов; плотности сети микрососудов; величины коэффициента диффузии и тесно связанного с ним коэффициента растворимости кислорода в данной ткани (клетке); скорости потребления кислорода данной тканью (клеткой) [2, 7, 8-14]. Изменение или нарушение любого из этих условий может вызвать недостаток кислорода в тканях и стать причиной энергетической недостаточности.

Известно, что компенсация гипоксии, вызванной вдыханием воздуха со сниженным содержанием кислорода, обеспечивается, прежде всего, усилением функции кардиореспираторной системы [2-8, 10-12, 16]. В ответ на снижение  $PO_2$  в артериальной крови происходит увеличение вентиляции легких вследствие активации хеморецепторов [13]. Это частично компенсирует падение  $PO_2$  в альвеолах. Кроме того, усиливается деятельность сердечно-сосудистой системы, что проявляется в учащении пульса, увеличении АД и сужении сосудов кожи [2, 4, 7, 11, 18]. Последнее обеспечивает перераспределение кровотока к жизненно важным органам и компенсацию снижения  $PO_2$  в тканях. Такая перестройка гемодинамики вызывается активацией симпатoadrenalовой системы [6, 12, 18, 19].

Морфологические и функциональные изменения, развивающиеся при старении, ведут к возникновению кислородной недостаточности и снижению устойчивости к гипоксии [3-5, 8]. Об этом свидетельствуют следующие факты: повышение чувствительности и снижение устойчивости старческого организма к недостатку кислорода; признаки недостаточного кислородного снабжения тканей у пожилых и старых людей при физической нагрузке; снижение у пожилых и старых людей уровня свободного кислорода в тканях; повышение содержания недоокисленных продуктов в организме при старении; повышенное поглощение кислорода из гипероксических газовых смесей; относительная активация гликолиза; положительное влияние оксигенотерапии на старческий организм и на продолжительность жизни [3-5, 8].

На то, что пожилые люди хуже приспособляются к физическим нагрузкам в условиях высокогорья, указывают многие исследователи [3-5, 8, 18]. На относительно небольших высотах (2000 м) у пожилых людей отмечаются дыхательные аритмии, приступы ночного апноэ. Рано изменяется электрокардиограмма, что выражается в уменьшении зубцов R и T, уширении комплекса QRS. При этом у пожилых людей отмечались неблагоприятные изменения ЭКГ – нарушения возбудимости и проводимости (экстрасистолии, атриовентрикулярная блокада). По данным М.М.Середенко (1965), во время дыхания из замкнутой системы с постепенно уменьшающимся содержанием кислорода побочные явления (чувство стеснения в груди, одышка, головокружение) у пожилых людей возникают при значительно меньшей степени гипоксии, чем у молодых.

Естественно предположить, что в основе указанных возрастных особенностей лежит неадекватное кислородное снабжение тканей при старении. Поэтому уже небольшая степень гипоксии в старческом возрасте ставит ткани в неблагоприятные условия жизнедеятельности, что вызывает включение компенсаторных механизмов, направленных на поддержание гомеостаза организма. В то же время у молодых людей приспособительные реакции при идентичной степени

гипоксии или не включаются вовсе, или выражены незначительно. При нарастании гипоксического воздействия указанные реакции в старости уже недостаточны для поддержания кислородного снабжения тканей, что приводит к снижению  $PO_2$  в них ниже критического уровня. В молодом возрасте при таком же гипоксическом воздействии ткани находятся в более благоприятных условиях доставки кислорода. Указанные различия и являются причиной повышения чувствительности и снижения устойчивости к гипоксии в пожилом и старческом возрасте.

Несмотря на многочисленные данные об особенностях реакции старых людей на гипоксию, факторы, определяющие снижение устойчивости к гипоксии при старении человека изучены недостаточно.

**Цель исследования.** Изучить факторы, определяющие снижение устойчивости к гипоксии при старении человека.

**Материал и методы.** Обследованы практически здоровые люди в возрасте от 20 до 79 лет (по 16 чел. в каждом десятилетии). При отборе практически здоровых людей с помощью клинических и инструментальных методов исследования исключалась патология сердечно-сосудистой, дыхательной эндокринной и других систем организма. Участие в исследовании было добровольным, все пациенты получили подробную информацию об исследовании и подписали информированное согласие.

Состояние изокапнической нормобарической гипоксии вызывалось вдыханием газовой смеси со сниженным содержанием кислорода (12 %  $O_2$  и 88 %  $N_2$ ) в течение 20 мин. Показатели кардиореспираторной системы регистрировали в течение 5 мин дыхания воздухом, 20 мин дыхания гипоксической смесью и 5 мин после перехода на дыхание воздухом. ЧСС, АД и сатурацию крови ( $SpO_2$ ) регистрировали с помощью монитора ЮМ-300 фирмы "ЮТАС" (Украина). Сатурация крови определялась пульсоксиметрическим методом. Вентиляцию легких изучали с помощью газоанализатора "Охусон-4" (фирмы "Mijnhardt", Нидерланды). Регистрировали в динамике минутный объем дыхания ( $V_E$ ), частоту дыхания и дыхательный объем.

Напряжение кислорода в артериализированной капиллярной крови ( $P_{aO_2}$ ) определяли на анализаторе "AVL OMNI" (Австрия). Определение минутного объема кровообращения (Q) и общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС) проводили на аппарате «Медиана-1» (СССР). Концентрацию гемоглобина в крови (Hb) гемоглобинцианидным методом.

Доставка кислорода ( $DO_2$ ) рассчитывалась как произведение сердечного выброса (Q) и содержания кислорода в артериальной крови:

$$DO_2 = Q \times CaO_2,$$

где Q – минутный объем кровообращения;

$CaO_2$  – содержание кислорода в крови, которое рассчитывается по формуле:

$$CaO_2 = [(1,34)[Hb] (SpO_2)] + [(P_{aO_2}) (0,0031)].$$

Определение уровня лактата проводилось в крови энзиматически – амперметрическим методом на аппарате "Super GL" (фирма "Dr. Muller", Германия).

Вегетативная регуляция изучалась методом анализа variability ритма сердца с помощью монитора фирмы "ЮТАС". Анализ вегетативной регуляции сосудов выполнен в соответствии с международными стандартами [17]. Рассчитывалась мощность компонент сердечного ритма в двух диапазонах частот: 0,15-0,4 Гц (высокочастотные колебания, HF), 0,04-0,15 Гц (низкочастотные колебания, LF). В соответствии с общепринятыми представлениями мощность HF-колебаний отражает парасимпатическую активность, мощность LF-колебаний – барорефлекторную активность, а отношение LF/HF является показателем симпатовагального баланса.

Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы Statistica 6.0 (StatSoft, USA). Рассчитывались средние значения показателей (M) и их ошибки (m). Все изученные показатели имели нормальное распределение и поэтому были использованы параметрические статистические процедуры. Различия средних величин показателей в изученных группах оценивали по критерию Стьюдента. Достоверными считались различия при  $p < 0,05$ .

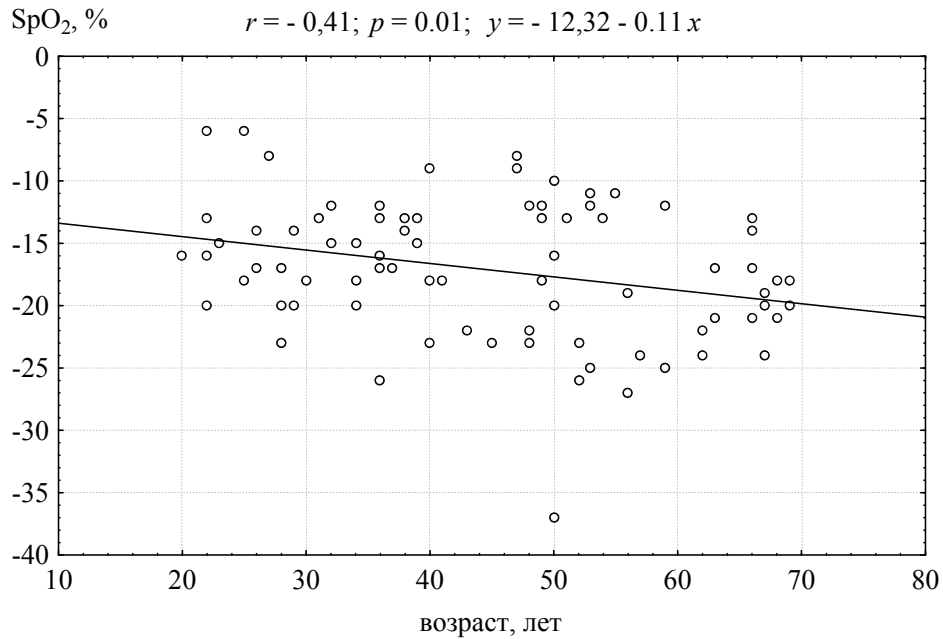
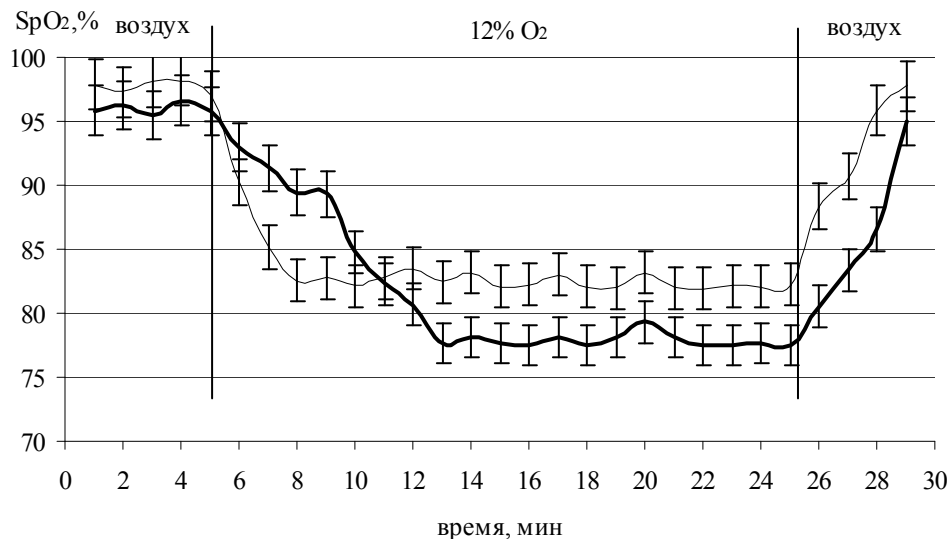
#### **Результаты исследования и их обсуждение.**

*Изменения сатурации крови при гипоксии в различные возрастные периоды.* Как показали проведенные исследования, при дыхании гипоксической газовой смесью сатурация крови у всех людей достоверно снижалась в среднем на  $(17,13 \pm 0,61)$  %. Такое снижение сатурации крови расценивается как выраженная гипоксемия. На рис. 1 представлена зависимость максимальных сдвигов сатурации крови при дыхании гипоксической смесью от возраста людей.

Установлено, что с увеличением возраста сдвиги сатурации, в среднем, также увеличиваются. Имеет место достоверная корреляция ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,01$ ) сдвигов сатурации крови с возрастом. Наблюдается увеличение различий величин сдвигов сатурации крови у разных людей старших возрастных групп. Среди людей старше 50 лет можно выделить две примерно равные группы с низкой и высокой степенью снижения сатурации крови при дыхании гипоксической смесью (со снижением сатурации крови до 80 % и более 80 %). У молодых людей сатурация крови редко уменьшалась при изученной гипоксической пробе ниже 80 %.

В табл. 1 приведены средние величины сдвигов сатурации крови в разных возрастных группах.

Из рис. 2 видно, что у людей старшей возрастной группы сатурация крови снижается быстрее и в большей степени, по сравнению с молодыми людьми. Кроме того, восстановление насыщения крови кислородом после перехода на ды-

Рис. 1. Сдвиги SpO<sub>2</sub> при дыхании 12 % O<sub>2</sub> от возраста здоровых людейРис. 2. Динамика SpO<sub>2</sub> при дыхании 12 % O<sub>2</sub> в течении 20 минут у практически здоровых молодых (тонкая линия) и пожилых (толстая линия) людей (1-5-ые минуты – дыхание воздухом, 5-25-ые минуты – дыхание 12 % O<sub>2</sub>)

хание воздухом у людей старшей возрастной группы замедлено.

Полученные возрастные различия сдвигов сатурации крови при дыхании гипоксической газовой смесью обусловлены, по-видимому, снижением при старении эффективности газообмена в легких, в частности, снижением диффузионной способности легких [8]. В результате растет градиент PO<sub>2</sub> между альвеолами и капиллярами легких.

*Изменения вентиляции при гипоксии в различные возрастные периоды.* Исследования показали, что при дыхании гипоксической газовой смесью наблюдается достоверный рост минутного объема, частоты и глубины дыхания (табл. 1). При этом рост V<sub>E</sub> обусловлен в большей степени увеличением объема дыхания и в меньшей – приростом частоты дыхания. На рис. 3 приведена

динамика V<sub>E</sub> при дыхании газовой смесью с 12 % кислородом у людей разного возраста.

Увеличение вентиляции легких при дыхании гипоксической смесью должно приводить к росту потребления кислорода, затрачиваемого на работу дыхательных мышц. Действительно, исследования газообмена показали, что потребление кислорода увеличивается, в среднем на 10-15 %, независимо от возраста людей. Отсутствие возрастных различий прироста потребления кислорода при этом обусловлено примерно одинаковой величиной прироста вентиляции у молодых и пожилых людей.

Достоверных изменений сдвигов показателей вентиляции с возрастом, как видно из таблицы, не происходит, несмотря на большие сдвиги сатурации крови у пожилых людей. Однако отно-

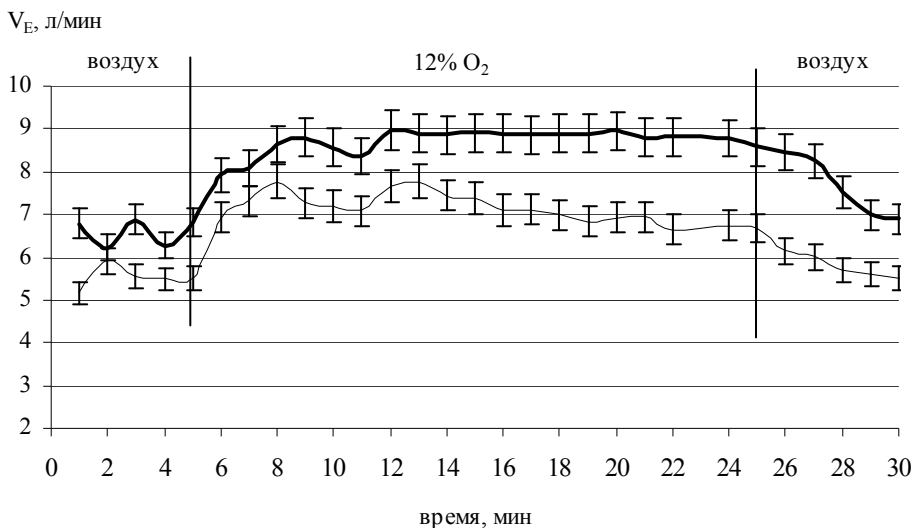


Рис. 3. Динамика  $V_E$  (л/мин) при дыхании 12 %  $O_2$  в течении 20 минут у практически здоровых молодых (тонкая линия) и пожилых (толстая линия) людей (1-5-ые минуты – дыхание воздухом, 5-25-ые минуты – дыхание 12 %  $O_2$ )

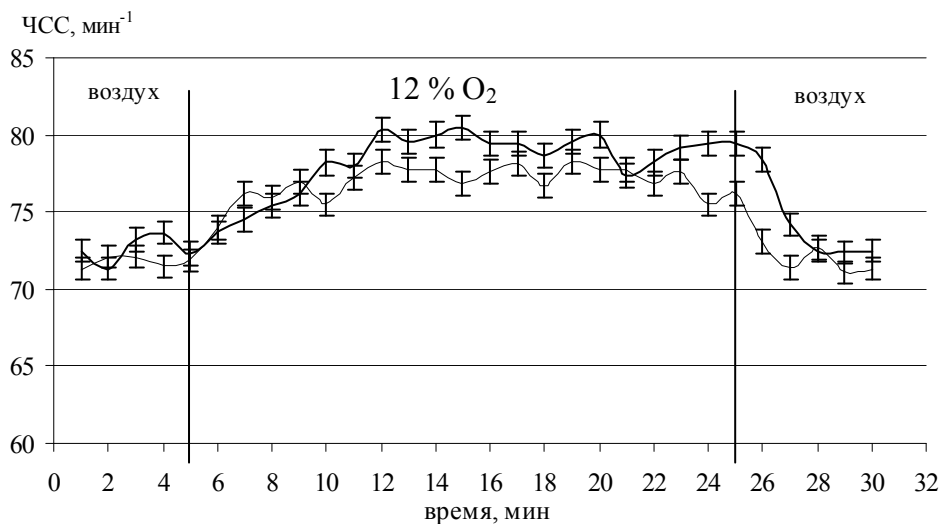


Рис. 4. Динамика ЧСС ( $\text{мин}^{-1}$ ) при дыхании 12 %  $O_2$  в течении двадцати минут у здоровых молодых (тонкая линия) и пожилых (толстая линия) людей (1-5-ые мин – дыхание воздухом, 5-25-ые мин – дыхание 12 %  $O_2$ , 25-30-ые мин – дыхание воздухом)

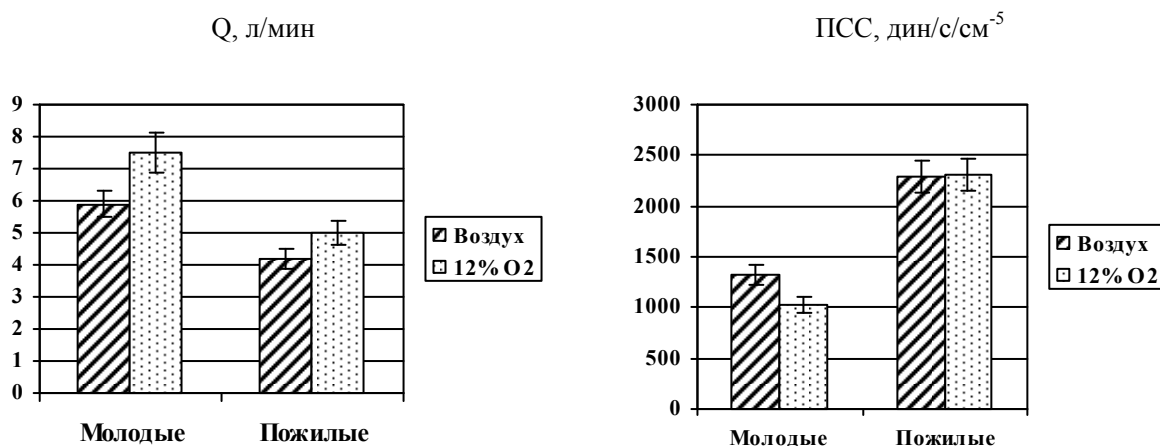


Рис. 5. Сдвиги Q и ОПСС при дыхании 12 %  $O_2$  у здоровых людей разного возраста

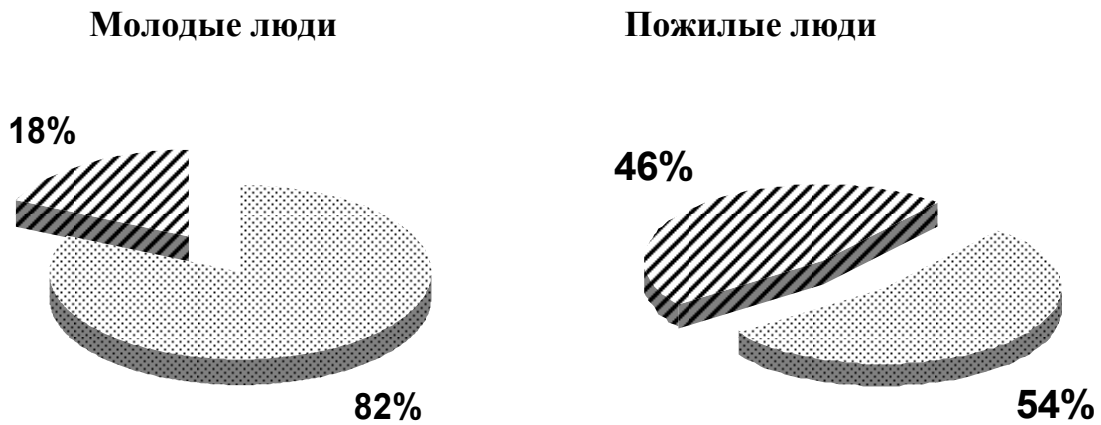


Рис. 6. Возрастные изменения устойчивости к гипоксии

Таблица 1

Средние значения показателей при дыхании воздухом и 12 % O<sub>2</sub> у здоровых людей разного возраста

Показатель	Возраст					
	20-29 лет	30-39 лет	40-49 лет	50-59 лет	60-69 лет	70-79 лет
В-SpO <sub>2</sub> , %	98,58±0,11	97,62±0,18	98,10±0,14	97,21±0,23	96,31±0,21*	96,15±0,19*
Г-SpO <sub>2</sub> , %	82,57±0,76	82,24±0,81	82,59±1,04	78,77±0,74*	77,43±0,82*	76,93±1,05*
ΔSpO <sub>2</sub> , %	-15,98±0,13	-15,12±0,77	-16,19±0,65	-19,22±0,93*	-19,18±0,54*	-20,21±0,78*
В-V <sub>E</sub> , л/мин	6,36±0,27	7,03±0,33	7,18±0,74	7,52±0,59	7,44±0,21*	7,35±0,25*
Г-V <sub>E</sub> , л/мин	8,84±0,25	9,37±0,62	9,24±0,57	9,78±0,62	9,71±0,30*	9,82±0,31*
ΔV <sub>E</sub> , л/мин	2,48±0,43	2,34±0,27	2,08±0,61	2,17±0,26	2,32±0,24	2,32±0,24
ΔV <sub>E</sub> /ΔSpO <sub>2</sub>	-0,17±0,015	-0,18±0,020	-0,21±0,019	-0,12±0,016*	-0,11±0,015*	-0,12±0,016*
В-ЧСС, мин <sup>-1</sup>	70,40±2,56	71,80±3,10	75,10±2,60	72,50±2,54	73,45±2,75	74,20±2,55
Г-ЧСС, мин <sup>-1</sup>	85,62±2,24	85,15±2,62	88,25±2,85	84,52±2,28	85,56±2,47	86,60±3,75
ΔЧСС /ΔSpO <sub>2</sub>	-0,96±0,08	-1,03±0,10	-0,81±0,11	-0,62±0,07*	-0,63±0,08*	-0,61±0,08*
В-АДс, мм рт.ст.	115,50±3,44	116,35±3,38	125,46±3,86	126,78±3,56	137,21±2,12*	136,15±3,25*
Г-АДс, мм рт.ст.	121,26±3,16	119,67±2,61	129,22±5,03	134,35±2,08	147,09±3,81*	147,09±3,81*
ΔАДс, мм рт.ст.	5,76±0,46 <sup>#</sup>	3,35±0,32 <sup>#</sup>	3,86±0,73 <sup>#</sup>	7,61±1,65 <sup>#</sup>	9,90±0,62 <sup>#*</sup>	10,08±1,17 <sup>#*</sup>
В-LF, мс <sup>2</sup>	225,4±38,5	184,6±36,8	171,8±41,5	142,4±24,5	146,9±38,2	145,8±42,7
Г-LF, мс <sup>2</sup>	142,3±34,5	141,4±42,6	116,8±42,5	105,7±18,9	106,7±31,4	112,3±33,8
ΔLF, мс <sup>2</sup>	-83,2±38,8	-43,3±23,4	-55,2±42,5	-36,8±24,1	-40,3±24,2	-33,7±18,4
В-HF, мс <sup>2</sup>	206,4±21,0	168,8±23,7	148,9±31,7	106,2±19,3	104,1±23,5*	100,6±28,0*
Г-HF, мс <sup>2</sup>	118,6±14,5	116,9±19,9	84,1±17,0	68,2±18,6	57,0±26,7	57,8±36,7
Δ HF, мс <sup>2</sup>	-87,7±11,4 <sup>#</sup>	-51,8±10,2 <sup>#</sup>	-64,7±22,7 <sup>#</sup>	-38,1±15,4 <sup>#</sup>	-47,2±17,5 <sup>#*</sup>	-42,7±16,2 <sup>#*</sup>
В-LF/HF	1,09±0,07	1,09±0,06	1,15±0,09	1,34±0,10	1,40±0,09*	1,45±0,10*
Г-LF/HF	1,19±0,08	1,21±0,11	1,38±0,18	1,55±0,23	1,87±0,28	1,94±0,28
ΔLF/ΔHF	0,11±0,04 <sup>#</sup>	0,21±0,08 <sup>#</sup>	0,11±0,04 <sup>#</sup>	0,48±0,20 <sup>#</sup>	0,72±0,20 <sup>#*</sup>	0,72±0,20 <sup>#*</sup>

Примечание. Δ – сдвиг показателя; \* – достоверные различия по сравнению с людьми в возрасте 20-29 лет, p < 0.05; В – воздух, Г – гипоксия

Таблиця 2

Показатели транспорта кислорода у пожилых людей с сохраненной (снижение SpO<sub>2</sub> выше 80 %) и сниженной (снижение SpO<sub>2</sub> ниже 80 %) устойчивостью к гипоксии

Показатели	Снижение SpO <sub>2</sub> до 80 %	Снижение SpO <sub>2</sub> ниже 80 %
SpO <sub>2</sub> , %	96,01±0,32	95,21±0,30
Содержание O <sub>2</sub> , мл O <sub>2</sub> /л	17,82±0,22	17,11±0,21*
[Hb], г/100 мл	14,24±1,21	13,81±1,20
Q, л/мин	4,22±0,30	4,02±0,28
Доставка O <sub>2</sub> , л/мин x мл O <sub>2</sub> /л	74,61±1,71	70,51±1,71*
PaO <sub>2</sub> , мм.рт.ст.	83,97±1,18	80,61±1,15*

Примечание. \* – достоверные различия по сравнению с группой пожилых людей со снижением SpO<sub>2</sub> выше 80 %, p<0,05

шение прироста V<sub>E</sub> к сдвигам сатурации крови с возрастом снижается (табл. 1). Это свидетельствует о снижении вентиляторного ответа при старении вследствие снижения эффективности хеморефлекса (возможно, вследствие снижения чувствительности хеморецепторов).

*Изменения гемодинамики при гипоксии в различные возрастные периоды.* Вдыхание гипоксической газовой смеси практически у всех людей вызывало достоверный рост ЧСС (см. табл. 1). На рис. 4 показана динамика изменений ЧСС при проведении гипоксической пробы у людей разного возраста. Установлено, что в группе людей старшего возраста отмечается замедленный рост ЧСС при переходе на дыхание 12 % O<sub>2</sub> и более медленное восстановление ЧСС после прекращения пробы.

Увеличение возраста не приводит к достоверным изменениям прироста ЧСС при гипоксии. Это связано, по-видимому, с уменьшением чувствительности синусового узла к вегетативным влияниям при старении. В пользу такого предположения свидетельствует тот факт, что с возрастом значительно снижаются LF и HF-колебания ритма сердца, обусловленные вегетативными влияниями на синусовый узел [1]. В то же время соотношение сдвигов ЧСС к сдвигам SpO<sub>2</sub>, которое отражает гемодинамический ответ на гипоксию, в процессе старения снижается (табл. 1).

Как показали проведенные нами исследования, при дыхании гипоксической газовой смесью в среднем отмечается небольшое, но достоверное увеличение АДс и АДд (табл. 1). Однако примерно у трети людей (независимо от возраста) АД при гипоксической пробе практически не изменялось или даже несколько снижалось.

Имеет место достоверная корреляция (r=0,28, p=0,034) сдвигов АДс с возрастом. В то же время сдвиги АДд с возрастом достоверно не изменялись.

Изменения АД при артериальной гипоксемии, которая развивается в условиях дыхания газовой смесью со сниженным содержанием кислорода, имеют сложный генез. Во-первых, извест-

но, что снижение PO<sub>2</sub> в артериальной крови вызывает расширение артериол и увеличение кровотока. Такая реакция направлена на компенсацию снижения PO<sub>2</sub> в тканях. Расширение сосудов должно приводить к снижению АД. Во-вторых, известно, что гипоксия приводит к активации симпатoadrenalовой системы. При этом происходит учащение пульса, сужение сосудов и как следствие – рост артериального давления. Суммарное действие этих двух факторов вызывает перераспределение кровотока к жизненно важным органам (централизация кровообращения). Более выраженный рост АД у пожилых людей связан, по-видимому, с большей активацией у них симпатoadrenalовой системы в ответ на гипоксию.

В ответ на гипоксический стимул у лиц как молодого, так и пожилого возраста отмечается компенсаторное увеличение Q, направленное на поддержание достаточного уровня доставки кислорода на периферию (рис. 5). Однако выраженность этих изменений была больше у лиц молодого возраста. В условиях более выраженной артериальной гипоксемии и меньшего прироста Q, достаточный уровень доставки кислорода у пожилых возможен лишь за счет более полного извлечения кислорода на периферии и увеличения артерио-венозной разности по кислороду. У лиц старших возрастных групп уже в условиях покоя этот показатель увеличен [8], что ограничивает компенсаторные возможности организма при гипоксии в старости.

У лиц молодого возраста в ответ на гипоксию отмечается снижение ОПСС, что способствует более благоприятным гемодинамическим условиям доставки кислорода на периферию. В то же время, в пожилом возрасте снижения ОПСС не отмечено. Это связано как с меньшим приростом Q, так и более выраженной гипертензивной реакцией на гипоксию у пожилых людей (рис. 5).

*Изменения вегетативной регуляции при гипоксии в различные возрастные периоды.* Известно, что развитие компенсаторных реакций на гипоксию со стороны сердечно-сосудистой сис-

темы обусловлено активацией симпатoadренало-вой системы [2, 4, 52]. Анализ изменений ВРС при гипоксии, полученных в наших исследованиях, подтверждает это положение. Как видно из представленных выше данных (табл. 1), при дыхании гипоксической смесью происходит достоверное снижение всех спектральных компонентов ВРС, как у молодых, так и у пожилых людей. Так, снижение HF-колебаний свидетельствует о торможении вагусной активности, а LF-колебаний – о снижении барорефлекторной активности. При этом симпатовагальный баланс смещается в сторону преобладания симпатического отдела ВНС. Это свидетельствует о большей напряженности симпатoadренало-вой системы при гипоксическом стрессе у пожилых людей, что подтверждает снижение у них устойчивости к гипоксии.

*Устойчивость к гипоксии в различные возрастные периоды.* С возрастом отмечается снижение устойчивости к недостатку кислорода. В то же время, при проведении гипоксической пробы обращает на себя внимание достаточно широкий диапазон индивидуальной переносимости гипоксии. Среди лиц пожилого возраста встречаются пациенты с достаточно высокой (снижение сатурации крови до 80 %) и с низкой (снижение сатурации крови ниже 80 %) степенями устойчивости к гипоксии. Однако при старении часть людей со сниженной устойчивостью к гипоксии увеличивается (рис. 6).

Представляло интерес выявить конкретные факторы, определяющие различную степень устойчивости к гипоксии у лиц пожилого возраста. С этой целью были проанализированы показатели системы внешнего дыхания и газообмена и транспорта кислорода в группах пациентов со сниженной и нормальной устойчивостью к гипоксии (табл. 2).

Можно отметить, что в группе пациентов со сниженной устойчивостью к гипоксии отмечается уменьшение доставки кислорода на периферию, что связано со снижением напряжения кислорода в артериальной крови и ее сатурации.

Ухудшение параметров кислородной функции крови в группе со сниженной устойчивостью к гипоксии, по-видимому, связано с изменениями системы внешнего дыхания и газообмена.

Можно было предположить, что у пожилых людей со сниженной устойчивостью к гипоксии при гипоксической пробе напряжение кислорода в тканях падает ниже критического уровня (порога анаэробного обмена) и происходит переход на анаэробные источники энергии. Действительно, у людей пожилого возраста со сниженной устойчивостью к гипоксии при гипоксической пробе достоверно растет уровень лактата (с  $1,57 \pm 0,17$  до  $2,78 \pm 0,15$  ммоль/л;  $p < 0,05$ ), в то время как у молодых людей этот показатель практически не изменяется (с  $1,58 \pm 0,23$  до  $1,82 \pm 0,29$  ммоль/л, ns).

## Выводы

Таким образом, суммируя вышесказанное, можно отметить следующие важные факторы, определяющие снижение устойчивости к гипоксии при старении:

1. Снижение эффективности функционирования системы внешнего дыхания и легочного газообмена при гипоксии.

2. Снижение эффективности функционирования сердечно-сосудистой системы при гипоксии.

3. Нарушения вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при гипоксии.

4. Снижение эффективности тканевого дыхания и вследствие этого уменьшение порога анаэробного обмена и накопление лактата при гипоксии.

**Перспективы дальнейших исследований** состоят в исследовании эффективности лекарственных средств, которые обладают способностью повышать устойчивость к гипоксии в пожилом возрасте.

## Литература

1. Коркушко О.В. Анализ вариабельности ритма сердца в клинической практике (возрастные аспекты) / О.В.Коркушко, А.В.Писарук, В.Б.Шатило. – К., 2002. – 190 с.
2. Гипоксия. Адаптация, патогенез, клиника / под общей редакцией Ю.Л.Шевченко. – СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2000. – 384 с.
3. Изменения вентиляции при гипоксии у пожилых людей с физиологическим и ускоренным старением дыхательной системы / О.В.Коркушко, Э.О.Асанов, А.В.Писарук [та ін.] // Укр. пульмонолог. ж. – 2009. – № 3. – С. 33-35.
4. Вікові особливості реакції кардіореспіраторної системи на гіпоксію / О.В.Коркушко [та ін.] // Фізіол. ж. – 2005. – Т. 51, № 6. – С. 11-17.
5. Передчасне старіння: фактори ризику, діагностика, засоби запобігання, метаболічна терапія / О.В.Коркушко, В.Б.Шатило, Ю.Т.Ярошенко [та ін.] // – Бібліотечка практикуючого лікаря. – Київ: Тов. ДСГ Лтд, 2003. – 52 с.
6. Колесникова Е.Э. Регуляция дыхания и показатели активности симпатoadренало-вой системы при адаптации к периодической гипоксии / Е.Э.Колесникова // Нейрофизиология. – 2001. – № 6. – С. 14-17.
7. Колчинская А.З. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте / А.З.Колчинская, Т.Н.Цыганова, Л.А.Остапенко. – М.: Медицина, 2003. – 408 с.
8. Коркушко О.В. Гипоксия и старение / О.В.Коркушко, Л.А.Иванов – К.: Наук. думка, 1980. – 276 с.
9. Сахарова Г.М. Анализ сродства гемоглобина к кислороду и потребление кислорода тканями / Г.М.Сахарова, Э.А.Гвоздева, В.А.Бражник // Пульмонология. – 1994. – № 1. – С. 55-59.
10. Проблемы гипоксии: молекулярные, физиологические и медицинские аспекты / под ред. Л.Д.Лукьяновой, И.Б.Ушакова. – Москва; Воронеж: Истоки, 2004. – 590 с.

11. Relation of Sympathetic Activation to Ventilation in Man at 4300 m Altitude / K.Asano, R.S.Mazzeo, R.E.McCullough [et al.] // Aviation, Space, and Environmental Medicine. – 1997. – Vol. 68, № 2. – P. 104-110.
12. Bavis R.W. Invited review: Intermittent hypoxia and respiratory plasticity / R.W.Bavis, K.J.Mack, E.B.Jr. Olson // J. Appl. Physiol. – 2001. – Vol. 90, № 6. – P. 2466-2475.
13. Bisgard G.E. The role of arterial chemoreceptors in ventilatory acclimatization to hypoxia / G.E.Bisgard // Adv. Exp. Med. Biol. – 1994. – Vol. 360. – P. 109-122.
14. Curtis A.S. Ventilatory response of goats to transient changes in CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> during acute hypoxia / A.S.Curtis, R.H.Kellogg // Respiration Physiology. – 1995. – Vol. 24, № 2. – P. 163-171.
15. Davidson C. Ventilatory control in normal man following five minutes exposure to hypoxia / C.Davidson, I.R.Cameron // Respiration Physiology. – 1985. – Vol. 60, № 2. – P. 227-236.
16. Gippenreiter E. High altitude medicine and physiology in the former Soviet Union / E.Gippenreiter, J.B.West // Aviat. Space Environ Med. – 1996. – Vol. 67. – P. 576-584.
17. Heart rate variability. Standard of measurement, physiological, and clinical use. Task Force of European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology // Europ. Heart J. – 1996. – Vol. 17. – P. 354-381.
18. Meerson F.Z. Adaptation to intermittent hypoxia: mechanisms of protective effects / F.Z.Meerson // Hypoxia Med. J. – 1993. – Vol. 1, № 3. – P. 2-8.
19. Sevre K., Reduced autonomic activity during stepwise exposure to high altitude / K.Sevre, B.Bendz, E.Hanko // Acta Physiol. Scand. – 2001. – Vol. 4. – P. 409-417.

### СТІЙКІСТЬ ДО ГІПОКСІЇ В ЛІТНЬОМУ ВІЦІ ТА ФАКТОРИ, ЩО ЇЇ ВИЗНАЧАЮТЬ

*О.В.Коркушко, Е.О.Асанов, А.В.Писарук, М.Д.Чеботарьов*

**Резюме.** Вивчено фактори, що визначають зниження стійкості організму до гіпоксії при старінні. Обстежені практично здорові люди віком від 20 до 79 років (по 16 осіб у кожному десятилітті).

Показано, що зниження стійкості організму до гіпоксії при старінні зумовлено зниженням ефективності функціонування системи зовнішнього дихання, легеневого газообміну та серцево-судинної системи в умовах гіпоксії. Це призводить до накопичення лактату та пригнічення тканинного дихання при гіпоксії в людей літнього віку.

**Ключові слова:** стійкість до гіпоксії, вентиляція, гемодинаміка, старіння.

### RESISTANCE TO HYPOXIA IN OLD AGE AND FACTORS DETERMINING IT

*O.V.Korkushko, E.O.Asanov, A.V.Pisaruk, N.D.Chebotaryov*

**Abstract.** The factors, determining a reduction of the body tolerance to hypoxia during aging have been researched. Apparently healthy people from 20 to 79 years old (16 people in each decade) have been examined. It has been shown that reducing the body's tolerance to hypoxia during aging is due to a reduced efficiency of the functioning of the system of external respiration, pulmonary gas exchange and cardiovascular system under the conditions of hypoxia. This leads to an accumulation of lactate and an inhibition of tissue respiration during hypoxia in elderly persons.

**Key words:** tolerance to hypoxia, ventilation, hemodynamics, aging.

Acad. D.F.Chebotaryev State Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (Kiev)

Рецензент – проф. О.І.Федів

Buk. Med. Herald. – 2011. – Vol. 15, № 3 (59). – P. 185-192

Надійшла до редакції 26.05.2011 року