

УДК 612.127

## **ТИПОЛОГИЯ ПУЛЬСОКСИМЕТРИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ВЗРОСЛЫХ МУЖЧИН НА ПРЕДЪЯВЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ГИПОКСИЧЕСКОГО СТИМУЛА**

**А.Н. Вётош<sup>1,2</sup>, О.С. Алексеева<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии  
им. И.М. Сеченова РАН, Москва

<sup>2</sup>Северо-западный государственный медицинский университет  
им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург

У 67 мужчин регистрировали пульсоксиметрически степень насыщения оксигемоглобина кислородом на фоне предъявления стабильного гипоксического стимула в виде постепенного снижения концентрации этого газа до 12%. Выявлены вариации чувствительности и устойчивости испытуемых к гипоксии, а также 4 вида изменения динамики степени насыщения оксигемоглобина кислородом в ходе 14-минутного дыхательного маневра.

**Ключевые слова:** гипоксия, пульсоксиметрия, чувствительность к гипоксии, устойчивость к гипоксии.

**Введение.** Уменьшение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе – гипоксическая гипоксия – ведёт к снижению поступления этого газа в организм человека [2]. Динамику развития гипоксического состояния можно измерить на уровне капилляров с помощью пульсоксиметра [5]. Этот прибор неинвазивно регистрирует степень насыщения артериальной крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) и частоту пульса. В течение четверти века пульсоксиметры широко используются для мониторинга гемодинамики пациентов в реанимации, интенсивной терапии и анестезиологии. Заметно реже пульсоксиметрия применяется для решения исследовательских задач в экспериментальной физиологии дыхания. Одной из причин этого является значительная вариабельность результатов пульсоксиметрических измерений [6].

Разброс показаний пульсоксиметра можно уменьшить путём подбора адекватного физиологического стимула и однородного контингента испытуемых. Это позволяет выделить и обосновать варианты реагирования организма человека на дозированную гипоксическую нагрузку, количественно измерить чувствительность и устойчивость к действию гипоксического стимула.

**Методика.** В исследовании приняли участие 67 взрослых практически здоровых мужчин в возрасте от 23 до 50 лет, занимающихся водлазной практикой. Испытуемые дышали воздухом через маску из замкнутого контура (рис. 1). К традиционному аппарату для осуществления возвратного дыхания (маска [2], клапанная коробочка [3], картридж с известковым химическим поглотителем диоксида

углерода [8] и дыхательный мешок [9]) мы добавили оксиметр [4], регулятор инъекции воздуха в дыхательный контур [7] и побудитель расхода воздуха для вентиляции аппарата после завершения дыхательного маневра.

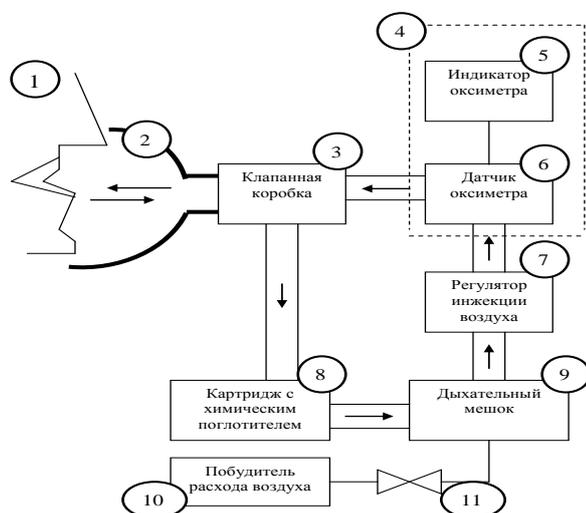


Рис. 1. Схема дыхательного контура для получения стабильного гипоксического стимула (пояснения в тексте).

Дополнительные элементы конструкции позволили предъявлять испытуемым стабильный гипоксический стимул, изображенный пунктирной линией на рис. 2. В течение первых пяти минут исполнения дыхательного маневра процентное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе уменьшалось с 20,6 до 12 об.%. В последующие 7 мин концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе (по показаниям оксиметра, датчик которого располагался на входе в клапанную коробку) поддерживалась в пределах  $12 \pm 1\%$ . По истечении 12-ти минут испытуемый снимал маску и возвращался к дыханию воздухом. Общее время регистрации пульсоксиграммы составляло 14 минут. В ходе дыхательного маневра визуально регистрировали частоту дыхательных движений. Содержание двуокиси углерода в дыхательном контуре не превышало 0,68%.

Датчик пульсоксиметра типа OxiPen фирмы EnviteC размещали на указательном пальце левой руки. Испытуемые в положении сидя дышали воздухом в течение 2-х мин и после этого переходили к исполнению описанного выше 14-ти минутного дыхательного маневра.

**Результаты и обсуждение.** Типичная динамика изменения пульсоксиграммы в ответ на действие описанного выше стимула приведена на рис. 2. На первом этапе дыхательного маневра содержание

кислорода во вдыхаемом воздухе убывало со скоростью 1,6% в минуту (см. прерывистую линию). Как следствие, спустя некоторое время, начинала уменьшаться степень насыщения оксигемоглобина кислородом (сплошная линия графика). Момент появления экстремума (точки перелома) пульсоксиграммы является индивидуальной и повторяемой характеристикой организма конкретного испытуемого. Этот признак означает исчерпание физиологических и биохимических резервов, поддерживающих постоянство степени насыщения оксигемоглобина кислородом в капиллярах ногтевого ложа покоящейся кисти руки. Для исследованного в нашей работе контингента среднее значение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе, при котором  $SpO_2$  начинала уменьшаться, составляет  $17,68 \pm 1,53\%$ .

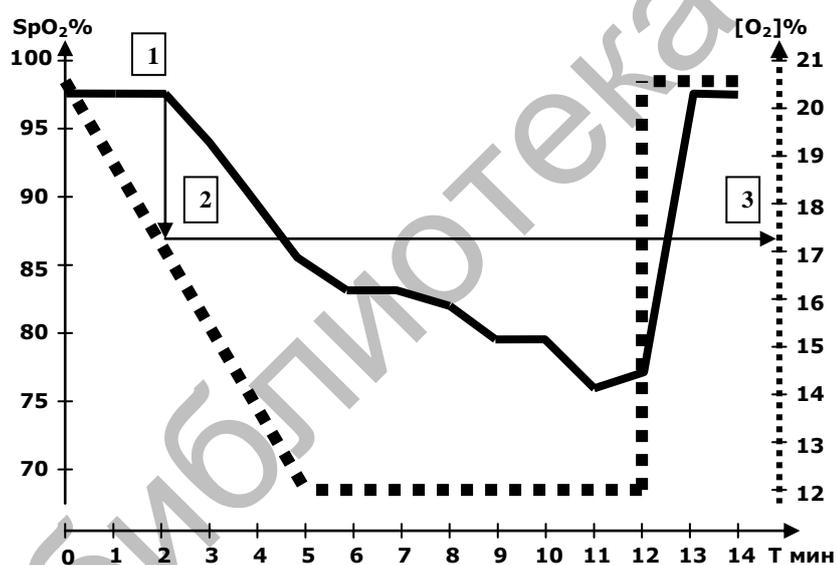


Рис. 2. Динамика  $SpO_2$  испытуемого СНА в ответ на предъявление стабильного гипоксического стимула (пояснения в тексте).

В рамках избранной формы представления результатов индивидуального испытания алгоритм определения чувствительности к гипоксии состоял из следующих этапов (см. рис.2). [1] – определение на графике изменения  $SpO_2$  момента начала необратимого уменьшения этого показателя. [2] – проекция момента [1] на линию, характеризующую изменение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе. [3] – проекция точки [2] на шкалу значений концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе.

Вариации устойчивости испытуемых к действию гипоксического стимула рассмотрим на примере данных полученных в нашем исследовании для возрастной группы 23-30 лет, состоявшей из 25 человек (рис. 3). В общем пуле данных регистрации динамики степени

насыщения оксигемоглобина кислородом мы выделили три группы реакций на стабильный гипоксический стимул. Испытуемые, чьи изменения пульсоксиграммы не опускались ниже 85%, были отнесены нами к категории повышенно устойчивых к гипоксии субъектов. Участники исследования, чье среднее значение вариаций пульсоксиграммы в последней четверти выполнения дыхательного маневра оставались в пределах 85–76%, квалифицировались, как нормоустойчивые. Лица, чьи показатели  $SpO_2$  в конце тестирования были ниже 76%, характеризовались как малоустойчивые к гипоксическому воздействию.

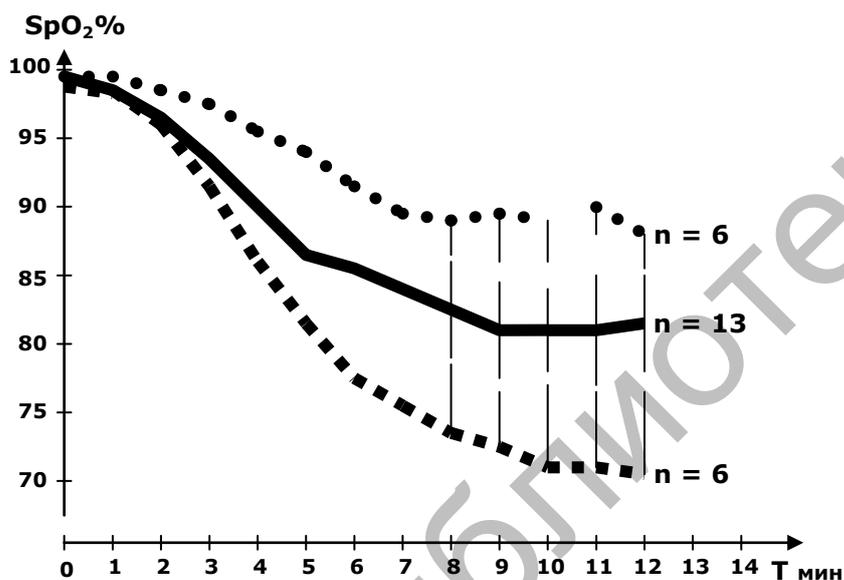


Рис. 3. Динамика средних значений  $SpO_2$  для возрастной группы 23–30 лет. (— нормоустойчивые, ••• повышенно устойчивые, —•• малоустойчивые испытуемые)

В возрастной группе 23–30 лет ( $n=25$ ) распределение испытуемых по категориям устойчивости к гипоксии соответствовало пропорции 1:2:1. Такое же соотношение сохранялось для возрастной группы 31–40 лет ( $n=30$ ). В возрастной группе 41–50 лет ( $n=12$ ) были представлены только повышенно устойчивые и нормоустойчивые профессионалы в пропорции один к двум.

В младшей возрастной группе у нормоустойчивых к гипоксии испытуемых частота сердечных сокращений (ЧСС) возрастала по мере выполнения дыхательного маневра на 22,8%. В той же возрастной группе у повышенно устойчивых к действию гипоксического стимула испытуемых ЧСС увеличивалась в меньшей степени — на 18,7%. В подгруппе неустойчивых к гипоксии субъектов частота сердечного ритма возрастала в наибольшей степени — на 35,7%.

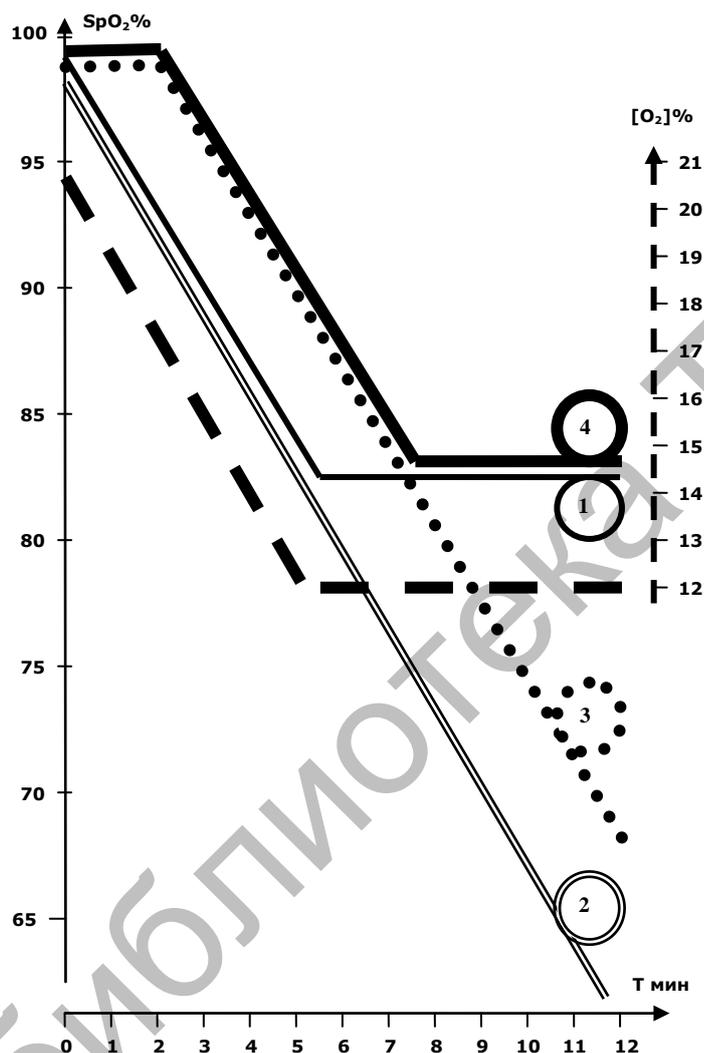


Рис. 4. Варианты пульсоксиметрических реакций на предъявление стабильного гипоксического стимула (пояснения в тексте).

Частота дыхательных движений под влиянием гипоксической нагрузки увеличивалась на 16,1% у нормоустойчивых, на 33% у неустойчивых и не изменялась у повышенно устойчивых участников исследования. По мере выполнения дыхательного маневра постепенно нарастала глубина дыхания. У испытуемых возрастных групп 31 – 40 и 41–50 лет динамика изменения ЧСС и параметров вентиляции лёгких носила тот же характер.

В ходе предъявления испытуемым стабильного гипоксического стимула, изображенного на рис. 2 и 4 пунктирной линией, степень насыщения оксигемоглобина кислородом уменьшалась. Особенности этого уменьшения у каждого испытуемого, графически представляемые как пульсоксиграммы, имели индивидуальный и воспроизводимый

характер. Анализ 67 вариантов индивидуальных пульсоксиграмм позволил нам выделить 4 типа реакций организма человека на стабильный гипоксический стимул избранного нами профиля (см. рис.4).

Первый тип реакции – повторение пульсоксиграммой профиля гипоксического стимула. При этом уменьшение SpO<sub>2</sub> происходило с самого начала дыхательного маневра и прекращалось после того, как концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе достигала 12%. На рис. 4 этот тип реакции обозначен цифрой 1. Он встречается редко и в нашей выборке мы имеем только 5 пульсоксиграмм первого типа.

Второй тип реакции на гипоксию – неуклонное уменьшение SpO<sub>2</sub> с самого начала дыхательного маневра. Это уменьшение продолжалось и после достижения концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе, равной 12%. Снижение SpO<sub>2</sub> происходило в течение всего времени исполнения дыхательного маневра. На рис. 4 этот тип реакции обозначен цифрой 2. Он также встречается редко и мы имеем 5 пульсоксиграмм второго типа.

Третий тип реакции – отсроченное уменьшение SpO<sub>2</sub>, которое начиналось не с первых секунд исполнения дыхательного маневра, а спустя минуту и более после старта. Однако после достижения концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе равной 12% уменьшение степени насыщения оксигемоглобина кислородом продолжалось. На рис. 4 этот тип реакции обозначен цифрой 3. В нашей выборке такой тип реагирования встречался 17 раз.

Четвёртый тип реакции – адаптивный. SpO<sub>2</sub> начинало уменьшаться не сразу, как и в предыдущем случае. Но после достижения концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе равной 12% уменьшение степени насыщения оксигемоглобина кислородом прекращалось. На рис. 4 этот тип реакции обозначен цифрой 4. Это самый распространённый тип реагирования на гипоксию в нашей выборке. Он насчитывает 40 случаев.

Применение оксигеметрии и пульсоксиметрии для определения устойчивости к гипоксическому воздействию описано в ряде работ [1; 3; 4]. К сожалению, авторы этих исследований использовали в качестве гипоксического стимула газовые смеси (90% азота и 10% кислорода). В этом случае время нарастания переднего фронта гипоксического стимула равно нулю, что ставит под сомнение степень адекватности данного варианта нагрузки на организм. Как следствие, в ответ на ударное воздействие снижается воспроизводимость результатов эксперимента и растёт вариабельность пульсоксиграмм. Тем не менее, цитируемые авторы рассматривали степень снижения SpO<sub>2</sub> под влиянием гипоксического воздействия в качестве меры устойчивости организма к недостатку кислорода и

выделяли среди испытуемых две (устойчивые – неустойчивые) или три (устойчивые – нормоустойчивые – неустойчивые) группы субъектов.

Обсуждение вариантов типичных пульсоксиметрических реакций на гипоксическое воздействие в доступной нам литературе отсутствует. Важно подчеркнуть, что у неустойчивых к гипоксии испытуемых часто встречаются первый и третий тип реакции, но отсутствует четвертый, который мы назвали адаптивным.

#### **Список литературы**

1. *Голубев В.Н., Королёв Ю.Н., Тимофеев Н.Н.* Вариабельность сердечного ритма и физическая работоспособность при гипоксической нагрузке // Баротерапия в комплексном лечении раненых, больных и пораженных. СПб, 2012. С. 120–121.
2. *Колчинская А.З.* Дыхание при гипоксии // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб.: Наука, 1994. С. 589–623.
3. *Кулешов В.И., Левшин И.В.* Выбор метода баротерапии. СПб., 2001. 208 с.
4. *Самойлов В.О., Голубев В.Н., Антоненкова Е.В., Борисенко Н.С.* О влиянии гипоксических тренировок на параметры гипоксической устойчивости // Баротерапия в комплексном лечении раненых, больных и пораженных. СПб., 2009. С. 110–111.
5. *Шурыгин И.А.* Мониторинг дыхания в анестезиологии и интенсивной терапии. СПб.: Диалект, 2003. 416 с.
6. *Bassovitch O., Serebrovskaya T.V.* Equipment and Regimes for Intermittent Hypoxia Therapy // Intermittent Hypoxia / eds. by Lei Xi, T.V. Serebrovskaya. N.Y.: Nova Science Publishers, 2009. P. 561–572.

#### **ADULT MANS PULSE OXIMETRY REACTIONS TYPOLOGY TO STABLE HYPOXICAL STIMULUS**

**A.N. Vjotosh<sup>1,2</sup>, O.S. Alekseeva<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry RAS, Moscow

<sup>2</sup>Mechnikov North-Western State Medical University, Saint-Petersburg

Pulse oximetry recording SpO<sub>2</sub> was made for 67 adult mans in the course of oxygen concentration decreasing up to 12%. Variations of sensitivity and resistibility against hypoxia are presented. Four variants of typical human pulse oximetry reactions in hypoxia condition were extracted from experimental data.

**Keywords:** *hypoxia, pulse oximetry, sensitivity to hypoxia, resistibility to hypoxia.*

*Об авторах:*

ВЁТОШ Александр Николаевич—доктор биологических наук, профессор кафедры морской и подводной медицины, ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗСР РФ, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41; ведущий научный сотрудник лаборатории сравнительной физиологии дыхания, ФГБУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН», e-mail: vjotnn@yahoo.com

АЛЕКСЕЕВА Ольга Сергеевна—кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории сравнительной физиологии дыхания, ФГБУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН», ассистент кафедры морской и подводной медицины, ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗСР РФ, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, e-mail: osa72@inbox.ru