

УДК 612.017.2+577.23(045)

**ЗУБАТКИНА Ольга Владимировна**, доктор биологических наук, заведующая кафедрой биомедицинской химии и токсикологии Северного государственного медицинского университета (г. Архангельск). Автор 47 научных публикаций

**ПОПОВ Андрей Александрович**, доцент кафедры биомедицинской химии и токсикологии Северного государственного медицинского университета (г. Архангельск). Автор 21 научной публикации

**САЛЬНИКОВ Николай Алексеевич**, аспирант кафедры физиологии, патологии развития человека Поморского государственного университета имени М.В. Ломоносова

**КРЫЖАНОВСКИЙ Эдвард Владимирович**, кандидат технических наук, руководитель центра телеметрии и биомедицинских технологий («Телебиомет») при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций имени М.А. Бонч-Бруевича. Автор 37 научных публикаций

## **ДИНАМИКА ЭНТРОПИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА НА ПРОБУ ШТАНГЕ**

Была изучена динамика стимулированной газоразрядной эмиссии в вариациях реактивности организма на вызванное состояние транзиторной гипоксии у 67 человек обоего пола. В однородных по состоянию кислородтранспортного и метаболического звеньев дыхания группах ответ организма на функциональную дыхательную пробу Штанге был представлен тремя вариантами: первый проявлялся снижением интенсивности процессов стимулированной эмиссии и падением энтропии, второй – увеличением интенсивности и ростом энтропии и третий – отсутствием значимых изменений.

**Энергоэмиссионные процессы, энтропия, хронограмма, проба Штанге, газовый гомеостаз**

**Введение.** Организм как живая система характеризуется способностью через механизмы саморегулирования активно приспосабливаться (адаптироваться) к внешним средовым раздражителям. Одна из систем, функционирующих по принципу саморегуляции, – система дыхания, приспособительным результатом действия которой является поддержание базисных показателей газового и кислотно-основного го-

меостаза на оптимальном для организма уровне в каждый конкретный момент времени.

Проба Штанге является одной из функциональных дыхательных проб, для которой, в отличие от других, почти нет ограничений для испытуемых по состоянию здоровья, и имеется возможность четкой градации по «пороговости» [1]. Длительность произвольного порогового апноэ (ППА) при проведении пробы Штанге

является диагностическим маркером устойчивости организма к транзиторной гипоксии (ТГ): низкой (ППА менее 30 сек.), умеренно-сниженной (35–55 сек.), высокой (60–90 сек.) и сверх-высокой (ППА более 95 сек.) [2]. В свою очередь, различия толерантности к транзиторной гипоксии определяются параметрами внешнего дыхания, состоянием кислородтранспортной системы, метаболической спецификой кислотно-основного гомеостаза [4].

В этой связи **целью** нашего исследования явилось изучение индивидуальных различий в вариациях реактивности организма на вызванное состояние транзиторной гипоксии при проведении пробы Штанге.

**Материалы и методы исследования.** Была проведена проба Штанге у 67 человек обоего пола, практически здоровых, средний возраст которых составил  $19,7 \pm 0,9$  лет. Проба проводилась после двух предварительных глубоких вдохов-выдохов с последующей задержкой дыхания на вдохе. Правильность выполнения пробы контролировалась путем пальпаторного определения начала рефлекторных сокращений диафрагмы перед окончанием произвольного апноэ.

У всех испытуемых до пробы и непосредственно после окончания задержки дыхания проводилась регистрация стимулированной газоразрядной эмиссии каждого пальца обеих рук на аппаратно-программном комплексе «Кроуноскоп». Возникающее во время съемки вокруг пальца короноразрядное свечение преобразуется системой видеонаблюдения и цифровой обработкой в двумерное динамическое распределение эмиссии с пальца руки – кроунограмму [3]. Определялись количественные показатели кроунограмм (энтропия, площадь засветки изображения, изрезанность контура) с помощью прикладных программ модуля «Кроун-лаборатория». При расчетах активности сердечно-сосудистой и системы дыхания учитывалось разбиение кроунограмм пальцев на сектора, основанное на диагностической карте проекции их зон немецкого врача-исследователя Питера Мандела (1986). Кроме того, на регистраторе эргоспирометрических показателей «Марафон»

была проведена оценка потребления кислорода и выделения углекислого газа в состоянии покоя с расчетом дыхательного коэффициента. Состояние кислородтранспортной системы оценивалось по концентрации гемоглобина в капиллярной крови. Обследование проводилось с соблюдением норм биомедицинской этики. Статистическая обработка данных проводилась в программе SPSS 6.0. Оценка распределения данных в выборке проводилась с использованием теста Дункана на гомогенность дисперсии. Однородность выборки оценивалась по критерию Колмогорова-Смирнова, сравнение выборочных средних проводилось с помощью t-критерия Стьюдента для парных наблюдений в пакете One Way ANOVA.

**Результаты и их обсуждение.** После проведения пробы Штанге испытуемые были разделены на три группы в зависимости от изменения числовых характеристик кроунограмм пальцев рук. Первую группу составили 19 человек, у которых после произвольного порогового апноэ у которых средние значения числовых значений кроунограмм энтропии и площади засветки изображения достоверно снизились, а изрезанность контура кроунограммы возросла. Во вторую группу вошли 16 человек, у которых средние значения энтропии и площади засветки изображения после пробы Штанге достоверно повысились, а изрезанность снизилась, т.е. характер изменений данных показателей был диаметрально противоположен первой группе. Третью, наибольшую по численности группу из 32 человек составили испытуемые без выраженных изменений данных показателей относительно их фоновых значений (*см. таблицу*).

Изменениям общих показателей энергоэмиссионных процессов соответствовала и динамика активности сердечно-сосудистой системы. Так, числовые значения проекционной зоны кроунограммы, отражающей активность сердечно-сосудистой системы, в первой группе снизились в 3,5 раза, а во второй в 2 раза возросли по сравнению с их исходными величинами. Кроме того, для второй группы наблюдалось повышение по сравнению с фоновыми в 1,5 раза значений, отражающих активность

Таблица

## ПОКАЗАТЕЛИ ЭНТРОПИИ, ПЛОЩАДИ ЗАСВЕТКИ И ИЗРЕЗАННОСТИ В ФОНОВОМ СОСТОЯНИИ И ПОСЛЕ ПРОБЫ ШТАНГЕ

Группы	Энтропия (ед.)		Площадь засветки (ед.)		Изрезанность (ед.)	
	до пробы	после пробы	до пробы	после пробы	до пробы	после пробы
1 группа (n=19)	1,40±0,11	1,22±0,23**	0,68±0,18	0,63±0,26*	2,34±0,88	2,91±1,86*
2 группа (n=16)	1,19±0,33	1,41±0,09*	0,65±0,28	0,71±0,26**	2,90±1,08	2,37±0,79**
3 группа (n=32)	1,41±0,06	1,42±0,07	0,77±0,22	0,79±0,19	1,86±0,48	1,82±0,45

*Примечание.* Достоверность различий между показателями в группах до и после пробы Штанге: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

дыхательной системы после произвольного порогового апноэ.

Проведенное исследование газового гомеостаза показало, что по показателю потребления кислорода, элиминации углекислого газа и дыхательному коэффициенту не имелось достоверных различий между группами. В первой группе испытуемых потребление кислорода в среднем составило  $382,7 \pm 98,03$  мл/мин, а выделение углекислого газа  $289,8 \pm 77,47$  мл/мин, дыхательный коэффициент имел среднее значение  $0,76 \pm 0,12$ . Для второй группы показатели были равны: потребление кислорода  $367,1 \pm 81,49$  мл/мин, выделение углекислого газа  $276,4 \pm 27,76$  мл/мин, дыхательный коэффициент  $0,75 \pm 0,15$ . Для третьей группы они были соответственно равны:  $344,8 \pm 114,85$  мл/мин,  $272,2 \pm 94,08$  мл/мин и  $0,79 \pm 0,18$ . Содержание гемоглобина у испытуемых также не имело достоверных различий. Так, у первой группы средняя концентрация гемоглобина была в среднем  $144,10 \pm 9,68$  г/л, у испытуемых второй и третьей групп  $141,18 \pm 10,99$  г/л и  $139,97 \pm 10,74$  г/л соответственно. Полученные результаты отражают однородность групп по состоянию кислородтранспортного и метаболического звеньев дыхания, что соответствует и продолжительности ППА, характеризующей уровень устойчивости к транзиторной гипоксии. Средние значения ППА в группах практически не отличались и составили: у испытуемых первой группы –  $52,3 \pm 15,49$  сек., второй –  $47,6 \pm 10,04$  сек. и третьей –  $47,7 \pm 14,42$  сек. В то же время анализ внутригруппового ранжирования по устойчивос-

ти к транзиторной гипоксии выявил, что наибольшее количество (48%) испытуемых с высокой толерантностью к транзиторной гипоксии было в 1-й группе, для которой после произвольного апноэ наблюдалось снижение энтропии и активности сердечно-сосудистой системы. Процентный перевес (75%) испытуемых с умеренно сниженной толерантностью к транзиторной гипоксии имел место во 2-й группе, для которой после завершения пробы было характерно повышение энтропии и активности как сердечнососудистой, так и системы дыхания.

**Заключение.** Таким образом, ответ организма на функциональную дыхательную пробу Штанге может быть представлен тремя вариантами изменений энергоэмиссионных показателей. Первый характеризуется снижением интенсивности процессов стимулированной эмиссии и падением энтропии; второй – увеличением интенсивности и ростом энтропии и третий – отсутствием значимых изменений. Установлено, что у лиц с высокими адаптационными ресурсами вызванное гипоксическое состояние сопровождается переходом на энергоэкономичный режим функционирования и характеризуется процессами, направленными на поддержание высокого уровня структурирования, проявляющиеся падением энтропии. У лиц со сниженной устойчивостью наблюдается повышение функциональной активности систем и усиление деструктивных процессов, направленных на энергообеспечение органов и тканей в условиях гипоксии, что ведет к нарастанию разупорядоченности и проявляется увеличением энтропии.

Динамика энтропии может служить мерой реактивности на транзиторную гипоксию, а флуктуации хронограмм – одним из универсальных

механизмов описания функционирования сложных нелинейных биологических систем, какой является организм человека.

### Список литературы

1. *Заболотских И.Б.* Механизмы обеспечения пробы Штанге // Анестезия и интенсивная терапия при травме, гипоксия, эндотоксемия и методы их коррекции: тез. X Пленума правления Всерос. науч. об-ва анестезиологов и реаниматологов. Н.Новгород, 1995. С. 55.
2. *Илюхина В.А., Заболоцких И.Б.* Энергодефицитные состояния здорового и больного человека. СПб., 1993.
3. *Крыжановский Э.В.* Основы хроноскопии. Анализ энергетических и адаптационных резервов организма. СПб., 2008.
4. *Иржак Л.И.* Биопотенциалы и кислотно-основной гомеостаз // Фундаментал. исследования. 2006. № 6. С. 21–22.

*Zubatkina Olga, Popov Andrey, Salnikov Nikolay, Kryzhanovskiy Edward*

### ENTROPY DYNAMICS AS AN INDICATOR OF THE ORGANISM REACTIVITY TO STANGE'S TEST

The dynamics of the stimulated gas-discharge emission in variations of the organism reactivity to the induced transition hypoxic state in 67 volunteers of both sexes has been studied. The organism response to the breath-holding test was studied in groups being uniform according to the state of oxygen transport and metabolism of respiration. It was represented in 3 variants. The first variant of response was manifested in a decrease of the stimulated emission and entropy intensity, the second one in an increase of these parameters, while the third one was characterized by no meaningful changes observed.

*Контактная информация:*  
Зубаткина Ольга Владимировна  
*e-mail:* olgavlad@atnet.ru  
Попов Андрей Александрович  
*e-mail:* popova@nmsu.ru  
Сальников Николай Алексеевич  
*e-mail:* nikosal23@mail.ru

Рецензент – *Соколова Л.В.*, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и экологии человека Поморского государственного университета имени М.В. Ломоносова