

УДК 534.88 613.67:623.98
DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-80-88

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА В ЗАДАЧАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФИЗИОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАХЕАЛЬНЫХ ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА

В.В. Малаева, А.Е. Костив, О.И. Кабанцова, И.А. Почекутова, В.И. Коренбаум

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук, г. Владивосток, Россия

e-mail: vrka@mail.ru

Некоторые виды профессиональной деятельности человека связаны с воздействием неблагоприятных факторов внешней среды, поэтому изучение ответных реакций организма как в острых ситуациях, так и при длительном воздействии необходимо для выявления ранних признаков функционального неблагополучия и профилактики развития заболеваний.

Цель исследования. Оценить возможности контроля изменений вентиляционной функции легких человека при экстремальных физических воздействиях и бронходилатационной пробе с помощью разработанных акустических параметров трахеальных шумов форсированного выдоха (ФВ).

Материалы и методы. Обследовано 3 группы добровольцев: профессиональные водолазы (n=25) до и после подводного погружения, испытуемые (n=11) при моделировании физиологических эффектов длительной невесомости и здоровые лица (n=29) при проведении бронходилатационной пробы.

Результаты. Выявлена значимая индивидуальная динамика продолжительности трахеальных шумов форсированного выдоха после погружения в современном дыхательном снаряжении замкнутого типа у 28 % (7/25) водолазов. Обнаружены разнонаправленные корреляционные взаимосвязи между динамикой продолжительности трахеальных шумов форсированного выдоха со специфическими факторами погружения и динамикой спирометрических показателей, отражающих состояние вентиляционной функции у водолазов. Установлено, что удельные полосовые энергии шумов форсированного выдоха характеризуются разнонаправленной чувствительностью к исследуемым экстремальным воздействиям: при постуральном моделировании невесомости в течение 3 сут выявлено снижение удельной энергии в полосе частот 800–1000 Гц и рост – в полосах 1400–1600, 1600–1800 Гц; при бронходилатационной пробе обнаружен рост удельной энергии в полосе частот 1600–1800 Гц, а при водолажном погружении – снижение энергии в полосе частот 1400–1600 Гц.

Выводы. Мониторинг изменений вентиляционной функции легких с помощью акустических параметров шумов форсированного выдоха представляется перспективным для индивидуального контроля состояния человека при экстремальных воздействиях.

Ключевые слова: вентиляционная функция, форсированный выдох, трахеальные шумы, экстремальные воздействия, обработка сигналов.

Введение. Некоторые виды профессиональной деятельности человека (водолазные погружения, космические полеты и др.) связаны с воздействием неблагоприятных факторов внешней среды (температура, атмосферное давление, парциальное давление газов и пр.). При этом физиологические возможности адаптации организма к экстремальным условиям хотя довольно широки, но

не безграничны [1–3]. Изучение ответных реакций различных органов и систем человека на действие экстремальных факторов как в острых ситуациях, так и при длительных экспозициях необходимо для лучшего понимания состояния организма, выявления ранних признаков функционального неблагополучия и своевременной профилактики развития серьезных заболеваний [4–8].

Респираторная система человека – первый барьер между организмом и окружающей атмосферой и поэтому в первую очередь подвержена влиянию неблагоприятных факторов [9]. Форсированный выдох (ФВ) – дыхательный маневр, который в качестве функционального теста с помощью потоко-объемных и акустических параметров позволяет выявлять минимальные отклонения в функционировании бронхов, в частности увеличение сопротивления воздушному потоку, которое является характерным признаком нарушений проходимости дыхательных путей [10].

Ранее акустическая оценка продолжительности трахеальных шумов ФВ показала высокую чувствительность в выявлении скрытой бронхиальной обструкции у молодых мужчин с бронхиальной астмой [11], при оценке влияния однократного водолазного погружения в дыхательных аппаратах замкнутого типа прежнего поколения [12], в условиях моделирования пилотируемого полета на Марс [13]. Ныне базис перспективных акустических параметров шумов ФВ расширен [14].

Таким образом, изучение изменений состояния респираторной системы с помощью анализа акустических параметров ФВ как при различных физических, так и при медикаментозных воздействиях актуально для индивидуального контроля состояния человека в задачах специальной физиологии.

Цель исследования. Оценить возможности контроля изменений вентиляционной функции легких человека при водолазных погружениях в современных дыхательных аппаратах замкнутого типа, постуральном моделировании невесомости и бронходилатационной пробе с помощью разработанных акустических параметров трахеальных шумов форсированного выдоха.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели обследование прошли 3 группы здоровых добровольцев.

Первая группа – 25 профессиональных водолазов, мужчин в возрасте от 22 до 44 лет (средний рост ($M \pm SD$) – 178 ± 6 см, вес – 76 ± 8 кг), погружавшихся в современных дыхательных аппаратах замкнутого типа и выполнявших подводные работы в привычных для них условиях в прибрежной акватории Япон-

ского моря в летний и осенний периоды. Респираторных жалоб перед погружением не отмечено. Предшествующие хронические, а также специфические заболевания и травмы легких в данной группе отсутствовали. Измерение проводилось в полевых прибрежных условиях непосредственно перед и сразу после спуска под воду (со снятым водолажным костюмом).

Вторая группа – 11 испытуемых-мужчин в возрасте от 19 до 38 лет, (средний рост – 175 ± 5 см, вес 70 ± 8 кг). Респираторных жалоб перед проведением эксперимента в группе не было. Хроническое бронхолегочное заболевание в стадии ремиссии (бронхиальная астма) отмечено у одного испытуемого. Эта группа по условиям эксперимента, проведенного совместно с НИИ космической медицины ФНКЦ ФМБА России, разделена на две подгруппы. Первая подгруппа (5 чел.) в течение 21 сут находилась на постельном режиме с отрицательным углом наклона головы (-6°) по отношению к горизонту для моделирования физиологических эффектов длительной невесомости. Вторая подгруппа (6 чел.) первые 5 сут находилась в идентичных условиях, что моделировало условия пилотируемого полета к Луне в невесомости, а на 6-е сут переведена на постельный режим с положительным углом наклона головы ($+9,6^\circ$) по отношению к горизонту для моделирования физиологических эффектов лунной гравитации. В таком положении испытуемые второй подгруппы находились на протяжении 16 сут, а на время ночного сна (с 23.00 до 7.00) переводились в горизонтальное положение [15].

Третья группа – 29 здоровых добровольцев в возрасте от 20 до 59 лет (средний рост – 172 ± 9 см, вес $72,5 \pm 14,5$ кг). Мужчин – 16 чел., женщин – 13 чел. Респираторных жалоб перед обследованием не предъявляли. Хронические бронхолегочные и сердечно-сосудистые заболевания отсутствовали. Обследование проводилось непосредственно перед и через 20 мин после бронходилатационной пробы (приема препарата сальбутамол через спейсер в дозе 400 мкг).

Фактор курения при формировании групп не исключался. Обследование по всем группам включало последовательную регистрацию трахеальных шумов ФВ и спирометрию.

Методика одобрена комитетом по био-медицинской этике МО ДВО РАН. Обследованными добровольцами подписано информированное согласие на выполнение неинвазивных исследований, в котором каждому разъяснен характер проводимых мероприятий. Регистрации показателей предшествовало обучение правильному выполнению дыхательных маневров.

Регистрация трахеальных шумов ФВ в полосе частот 200–2000 Гц выполнялась с помощью аппаратно-программного комплекса ПФТ [11]. От 3 до 5 попыток правильно выполненного дыхательного маневра запоминались в виде файлов *.wav. Анализ акустических показателей проводился по попытке с наибольшей продолжительностью ФВ.

Для каждой записи маневра ФВ были определены следующие спектральные параметры: продолжительность маневра T_a , полосовые продолжительности ($t_{200-400}, \dots, t_{1800-2000}$), полосовые энергии ($A_{200-400}, \dots, A_{1800-2000}$). Рассчитаны удельные полосовые энергии ($AR_{200-400}, \dots, AR_{1800-2000}$), представляющие собой энергию в 200-герцовых полосах частот, нормированную на полную энергию в полосе 200–2000 Гц.

Портативным компьютерным спирографом (MicroLoop, MicroMedicalLtd. UK) измерялись фактические величины показателей: жизненная и форсированная жизненная емкости легких (ЖЕЛ, ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁), средняя объемная скорость форсированного выдоха на уровне между 25 и 75 % ФЖЕЛ ($СОС_{25-75}$), пиковая объемная скорость выдоха ($ПОС_{выд}$) – и сравнивались с должными значениями, рассчитанными по уравнениям European Coal and Steel Community (ECCS, 1993). Интерпретация результатов спирометрии проводилась в соответствии с рекомендациями American Thoracic Society / European Respiratory Society, (ATS/ERS, 2005).

Для оценки групповых различий до и после воздействий использовался непараметрический Т-тест Вилкоксона. Для оценки индивидуальной динамики – величина относительного приращения контролируемого параметра при сравнении с 99 % пределом внутрииндивидуального разброса. Корреля-

ционный анализ проводился с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Для выявления влияния факторов, моделирующих невесомость и лунную гравитацию во времени, применялся двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты и обсуждение. При определении групповой динамики спирографических показателей до и после погружения водолазов значимых различий не обнаружено. При долговременной групповой оценке влияния моделирования невесомости и лунной гравитации на респираторную функцию отмечено значимое снижение практически всех показателей спирометрии (кроме ФЖЕЛ) в пределах нормальных значений на 3-и сут эксперимента. При медикаментозном воздействии выявлено групповое различие по скоростным показателям спирометрии, таким как ОФВ₁, $СОС_{25-75}$ ($p < 0,01$).

При оценке индивидуальной динамики акустического параметра T_a для каждого из водолазов определено относительное приращение максимального значения параметра после погружения к максимальному, измеренному перед погружением, отнесенное к максимальному значению перед погружением: $\Delta T_a = (T_{a \text{ пос}} - T_{a \text{ исх}}) / T_{a \text{ исх}}$ (%). Аналогично рассчитаны величины относительных приращений для спирометрических показателей Δ ЖЕЛ, Δ ФЖЕЛ, Δ ОФВ₁, Δ ОФВ₁/ФЖЕЛ, Δ СОС₂₅₋₇₅, Δ ПОС_{выд}. Полученные приращения сопоставлены с 99 % пределом естественного внутрииндивидуального разброса, который определен как $1,99 \cdot CV$, где CV (%) – индивидуальный коэффициент вариации параметра по попыткам маневров перед погружением. В связи с отсутствием межсессионных оценок вариабельности исследуемого акустического параметра дополнительно минимальное значение индивидуального порога для ΔT_a ограничено полученным ранее фиксированным значением 19,6 % [12].

Величины ΔT_a , превысившие по абсолютной величине индивидуальные/минимальные пороги, отмечены у 7 водолазов (28 %) и представлены в табл. 1. Во всех случаях отмечено удлинение продолжительности трахеальных шумов ФВ. Данная частота встречаемости акустических признаков на-

рушений вентиляционной функции легких (предположительно обструктивного типа) существенно не различается с обнаруженной ранее при использовании дыхательных аппаратов замкнутого типа прошлого поколения [12], в то время как нами предполагалось

меньшее негативное влияние новых дыхательных аппаратов на вентиляционную функцию легких, так как в отличие от аппаратов прошлого поколения, содержащих и регенеративное вещество, и поглотитель, современные содержат только поглотитель.

Таблица 1

Значимая индивидуальная динамика продолжительности трахеальных шумов ФВ у водолазов после спуска в дыхательных аппаратах замкнутого типа, %

Показатель	№ водолаза						
	1	2	3	4	5	6	7
Порог $1,99 \cdot CV(T_a)$	22,8	3,4 (19,6)	19,6	10,5 (19,6)	14,0 (19,6)	33,2	10,7 (19,6)
ΔT_a	27,2	49,4	21,6	38,7	31,6	46,5	33,8

Мы сравнили подгруппы водолазов с наличием значимой индивидуальной акустической динамики (ΔT_a) и отсутствием таковой и не обнаружили достоверной разницы по таким факторам, как длительность погружения ($p=0,08$), глубина погружения ($p=0,42$), а также величина гидростатического давления

в зависимости от глубины погружения водолаза ($p=0,13$). При сравнении же акустических и спирометрических показателей после погружения водолазов в данных подгруппах выявлено значимое различие динамики как акустического (ΔT_a), так и спирометрических скоростных показателей (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение динамики акустических и спирометрических показателей после погружения у групп водолазов со значимой акустической динамикой ΔT_a и без таковой (Me; Q_{25} ; Q_{75})

Показатель	Со значимой индивидуальной акустической динамикой, $n=7$	Без индивидуальной акустической динамики, $n=18$	p
ΔT_a , %	38,68; 24,21; 49,44	0,24; -11,54; 8,97	0,00002
Δ ЖЕЛ, %	0,93; 0,00; 2,77	-1,01; -1,98; 2,69	0,198
Δ ФЖЕЛ, %	-0,15; -0,55; 2,32	0,13; -0,58; 2,03	0,574
Δ ОФВ ₁ , %	-2,87; -3,86; -0,65	1,32; -0,58; 2,03	0,006
Δ (ОФВ ₁ /ФЖЕЛ), %	-2,96; -3,81; -1,84	0,47; -2,21; 2,43	0,021
Δ СОС ₂₅₋₇₅ , %	-9,62; -12,66; -7,04	0,02; -6,33; 8,08	0,008
Δ ПОС _{выд} , %	2,01; -3,95; 2,95	1,46; -4,51; 6,17	0,929

Примечание. Выделены статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Для подтверждения взаимосвязи выявленных индивидуальных изменений акустического параметра с изменениями вентиляционной функции легких водолазов мы провели корреляционный анализ между акусти-

ческим и спирометрическими показателями, а также специфическими факторами, воздействующими на функцию дыхания и способными вызывать ее изменения (табл. 3). Обнаружена разнонаправленная корреляционная

связь преимущественно средней силы между продолжительностью трахеальных шумов ФВ (T_a) и показателями вентиляционной функции легких: ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, СОС₂₅₋₇₅, а также положительные корреляционные взаимосвязи T_a со стажем погружений водолазов. Помимо этого, для индивидуального стажа погружений водолазов имеется взаимосвязь средней силы со спирометрическими показателями, измеренным до погружения (для ОФВ₁/ФЖЕЛ $r=-0,48$, для ЖЕЛ $r=0,65$ и для ФЖЕЛ $r=0,58$). Значима корреляция интегрального показателя (величина гидростати-

ческого давления (кПа) на определенной глубине погружения \times длительность погружения (мин)) и Δ ОФВ₁/ФЖЕЛ (%) ($r=0,40$). Корреляционные взаимосвязи средней силы выявлены между ΔT_a (%) и динамикой спирометрических показателей по группе (табл. 3).

Таким образом, установленные корреляции свидетельствуют о связи обнаруженных акустических индивидуальных изменений ΔT_a , возникших под воздействием текущих факторов погружения, с изменениями спирометрических показателей вентиляционной функции легких.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции Спирмена акустических параметров со спирометрическими показателями, специфическими факторами в динамике до и после погружения водолазов, n=25

Показатель/фактор	До погружения, $T_{a \text{ иех}}$	После погружения, $T_{a \text{ пос}}$	В динамике, $\Delta T_a, \%$
ЖЕЛ	0,15	0,063	-
ОФВ ₁	-0,40	-0,45	-0,59
ФЖЕЛ	0,10	-0,01	-0,03
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ	-0,73	-0,69	-0,44
ПОС	-0,35	-0,21	0,04
СОС ₂₅₋₇₅	-0,73	-0,73	-0,52
Глубина погружения, м	-0,16	-0,07	0,14
Время погружения, мин	0,02	-0,20	-0,31
Величина гидростатического давления, кПа	-0,16	-0,07	0,14
Интегральный показатель	-0,01	-0,16	-0,17
Стаж погружений, ч	0,41	0,22	-0,12

Примечание. Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции, $p<0,05$.

Параметры 200-герцовых полосовых энергий трахеальных шумов ФВ для оценки различных вариантов воздействий в группах измерялись впервые (табл. 4).

При постуральном моделировании воздействия невесомости в течение 3 сут наблюдаются значимое ($p<0,05$) снижение среднечастотного параметра $AR_{800-1000}$ и увеличение высокочастотных $AR_{1400-1600}$ и $AR_{1600-1800}$.

При бронходилатационной пробе также отмечается существенное увеличение пара-

метра $AR_{1600-1800}$, в то время как при однократном погружении под воду в современном водолазном снаряжении замкнутого типа – значимое снижение параметра $AR_{1400-1600}$.

При оценке влияния долговременного моделирования невесомости и лунной гравитации применение удельных полосовых энергий позволило обнаружить более контрастные различия этих вариантов воздействий, чем было найдено ранее при анализе по параметру T_a [16]. Так, обнаружено значимое

увеличение $AR_{200-400}$ при моделировании невесомости в сравнении с моделированием лунной гравитации на 9, 14 и 20-е сут эксперимента. Похожая тенденция наблюдается и для $AR_{800-1000}$, а с меньшей выраженностью –

и для $AR_{1000-1200}$. В более высокочастотных полосах при моделировании невесомости наблюдается обратная динамика: снижение $AR_{1200-1400}$ и $AR_{1400-1600}$ на 9-е и 20-е сут эксперимента.

Таблица 4

Статистические различия удельных полосовых энергий в группах при различных воздействиях

Параметр	Воздействие		
	Водолазное погружение, n=25	Моделирование невесомости, n=11	Бронходилатационная проба, n=29
$AR_{200-400}$	0,4593	0,8589	0,5963
$AR_{400-600}$	0,3395	0,8589	0,4958
$AR_{600-800}$	0,7775	0,4769	0,2654
$AR_{800-1000}$	0,8612	0,0164	0,1766
$AR_{1000-1200}$	0,0780	0,0505	0,3147
$AR_{1200-1400}$	0,1425	0,2860	0,5096
$AR_{1400-1600}$	0,0303	0,0033	0,8036
$AR_{1600-1800}$	0,6766	0,0208	0,0169
$AR_{1800-2000}$	0,8824	0,3739	0,9053

Примечание. Выделены значимые различия между параметрами, $p < 0,05$.

Следовательно, удельные 200-герцовые полосовые энергии шумов ФВ средне- и высокочастотного диапазонов оказались чувствительны к рассмотренным типам физических и медикаментозных воздействий. Интересно, что при различных типах воздействий наблюдаются разнородные изменения как по полосе частот, так и по направленности параметра. Это предполагает возможность выявления специфических изменений акустических параметров, характерных для каждого из воздействий.

Выводы:

1. Выявлена значимая индивидуальная динамика продолжительности трахеальных шумов форсированного выдоха после погружения в современном дыхательном снаряжении замкнутого типа у 28 % (7/25) водолазов.

2. Обнаружены разнонаправленные корреляционные взаимосвязи между динамикой продолжительности трахеальных шумов форсированного выдоха со специфическими фак-

торами погружения и динамикой спирометрических показателей, отражающих состояние вентиляционной функции у водолазов.

3. Установлено, что удельные полосовые энергии шумов форсированного выдоха характеризуются разнонаправленной чувствительностью к исследуемым экстремальным воздействиям: при постуральном моделировании невесомости в течение 3 сут выявлено снижение удельной энергии в полосе частот 800–1000 Гц и рост – в полосах 1400–1600, 1600–1800 Гц; при бронходилатационной пробе обнаружен рост удельной энергии в полосе частот 1600–1800 Гц, а при водолазном погружении – снижение энергии в полосе частот 1400–1600 Гц.

4. Мониторинг изменений вентиляционной функции легких с помощью акустических параметров шумов форсированного выдоха перспективен для индивидуального контроля состояния человека при экстремальных воздействиях.

Литература

1. Мясников А.А., Щитов А.Ю., Чернов В.И., Жильцова И.И., Юрьев А.Ю., Мясников А.А. Определение устойчивости водолазов к декомпрессионному газообразованию. Военно-медицинский журнал. 2013; 334 (2): 45–50.
2. Van Ooij P.J., Hollmann M.W., van Hulst R.A., Sterk P.J. Assessment of pulmonary oxygen toxicity: Relevance to professional diving; a review. *Respiratory Physiology and Neurobiology*. 2013; 189 (1): 117–28.
3. Voortman M., van Ooij P.J.A.M., Van Hulst R.A., Zanen P. Pulmonary function changes in Navy divers during their professional careers. *UHM*. 2016; 6 (43): 649–657.
4. Чумаков А.В., Сухорослова И.Е., Шарова Н.В., Свистов А.С., Неустроев А.П., Макиев Р.Г., Аланичев А.Е. «Легкое водолаза»: особенности ремоделирования системы органов дыхания у акванавтов ВМФ в период отдаленных последствий глубоководных насыщенных спусков. Военно-медицинский журнал. 2013; 334 (1): 44–48.
5. Altepe C., Egi S.M., Ozyigit T., Ruzgar S.D., Marroni A., Pierleoni P. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors*. 2017; 17 (6): 1349.
6. Martin A., Voix J. In-Ear Audio Wearable: Measurement of Heart and Breathing Rates for Health and Safety Monitoring. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2018; 65 (6): 1256–1263.
7. Pougnet R., Pougnet L., Lucas D., Uguen M., Henckes A., Dewitte J.-D., Loddé B. Longitudinal changes in professional divers' lung function: literature review. *International Maritime Health*. 2014; 65 (4): 223–229.
8. Watenpaugh D.E. Analogs of microgravity: head-down tilt and water immersion. *Journal of Applied Physiology*. 2016; 120: 904–914.
9. Hageman S.M., Murphy-Lavoie H.M. Diving, immersion pulmonary edema. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2018.
10. Савушкина О.И., Черняк А.В. Легочные функциональные тесты: от теории к практике: руководство для врачей. М.: ООО «Фирма СТРОМ»; 2017. 192.
11. Pochekutova I.A., Korenbaum V.I. Diagnosis of hidden bronchial obstruction using computer-assessed tracheal forced expiratory noise time. *Respirology*. 2013; 18 (3): 501–506.
12. Почекутова И.А., Коренбаум В.И. Акустическая оценка влияния одиночного погружения в водолазном снаряжении закрытого типа на вентиляционную функцию легких. *Физиология человека*. 2011; 37 (3): 76–82.
13. Дьяченко А.И., Коренбаум В.И., Михайловская А.Н., Осипова А.А., Суворов А.В., Шин С.Н., Почекутова И.А. Динамика продолжительности трахеальных шумов форсированного выдоха в условиях изоляции у испытуемых – участников программы «МАРС-500». *Физиология человека*. 2014; 40 (1): 96–100.
14. Pochekutova I., Korenbaum V. An approximate estimation of human bronchial resistance under forced exhalation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2015; 191: A2092.
15. Баранов М.В., Катунцев В.П., Шпаков А.В., Баранов В.М. Метод наземного моделирования физиологических эффектов пребывания человека в условиях гипогравитации. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2015; 160 (9): 392–396.
16. Malaeva V.V., Korenbaum V.I., Pochekutova I.A., Kostiv A.E., Shin S.N., Katuntsev V.P., Baranov V.M. A technique of forced expiratory noise time evaluation provides distinguishing human pulmonary ventilation dynamics during long-term head-down and head-up tilt bed rest tests simulating micro and lunar gravity. *Frontiers in Physiology*. 2018; 9: 1255.

NEW POSSIBILITIES FOR HUMAN LUNGS VENTILATION FUNCTION CONTROL IN SPECIAL PHYSIOLOGY TASKS USING TRACHEAL NOISES OF FORCED EXPIRATION

V.V. Malaeva, A.E. Kostiv, O.I. Kabantsova, I.A. Pochekutova, V.I. Korenbaum

V.I. Ilyichov Pacific Oceanological Institute, Far East branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia

e-mail: vrka@mail.ru

Some types of human professional activities are associated with the influence of adverse environmental factors, therefore, the study of the human body response both in acute situations and in case of prolonged exposure to such factors is necessary to identify early signs of functional distress and prevent the disease development.

The purpose of the paper is to assess the ability to control changes in the human lungs ventilation function under extreme physical loads and a bronchodilation test using the developed acoustic parameters of forced expiratory tracheal noise.

Materials and Methods. The authors examined three groups of volunteers: professional divers (n=25) before and after scuba diving, testers (n=11) while modeling the physiological effects of prolonged null-gravity condition, and healthy persons (n=29) during bronchodilation test.

Results. The authors revealed significant individual dynamics of tracheal noise duration of forced expiration after diving in modern respiratory equipment of closed type in 28 % (7/25) of divers. They also found multidirectional correlations between the dynamics of the duration of forced expiratory tracheal noises under specific diving and the dynamics of spirometric indicators reflecting the state of the ventilation function in divers. It was found that the specific band energies of forced expiratory noise were characterized by multidirectional sensitivity to the extreme effects under study: postural simulations of null-gravity condition for 3 days revealed a decrease in specific energy in 800–1000 Hz and an increase in 1400–1600, 1600–1800 Hz; during bronchodilation test, an increase in specific energy was found in 1600–1800 Hz, and in case of diving, a decrease in energy in 1400–1600 Hz.

Conclusion. Monitoring of changes in the lungs ventilation function using the acoustic parameters of forced expiratory noise seems promising for individual monitoring of a human state under extreme conditions.

Keywords: ventilation function, forced expiration, tracheal noises, extreme effects, signal processing.

References

1. Myasnikov A.An., Shchitov A.Yu., Chernov V.I., Zhil'tsova I.I., Yur'ev A.Yu., Myasnikov A.Al. Opredelenie ustoychivosti vodolazov k dekompressionnomu gazoobrazovaniyu [Detection of the diver's resistance to decompression gas formation]. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*. 2013; 334 (2): 45–50 (in Russian).
2. Van Ooij P.J., Hollmann M.W., van Hulst R.A., Sterk P.J. Assessment of pulmonary oxygen toxicity: Relevance to professional diving; a review. *Respiratory Physiology and Neurobiology*. 2013; 189 (1): 117–28.
3. Voortman M., van Ooij P.J.A.M., van Hulst R.A., Zanen P. Pulmonary function changes in Navy divers during their professional careers. *UHM*. 2016; 6 (43): 649–657.
4. Chumakov A.V., Sukhoroslova I.E., Sharova N.V., Svistov A.S., Neustroev A.P., Makiev R.G., Alani-chev A.E. «Legkoe vodolaza»: osobennosti remodelirovaniya sistemy organov dykhaniya u akvanavtov VMF v period otdalennykh posledeystviy glubokovodnykh nasyshchennykh spuskov [“Diver's lungs”: Characteristics of respiratory system remodeling of Navy aquanauts during the long-term aftereffects of deep-sea diving]. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*. 2013; 334 (1): 44–48 (in Russian).
5. Altepe C., Egi S.M., Ozyigit T., Ruzgar S.D., Marroni A., Pierleoni P. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors*. 2017; 17 (6): 1349.
6. Martin A., Voix J. In-Ear Audio Wearable: Measurement of Heart and Breathing Rates for Health and Safety Monitoring. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018; 65 (6): 1256–1263.

7. Pougnet R., Pougnet L., Lucas D., Uguen M., Henckes A., Dewitte J.-D., Loddé B. Longitudinal changes in professional divers' lung function: literature review. *International Maritime Health*. 2014; 65 (4): 223–229.
8. Watenpaugh D.E. Analogs of microgravity: head-down tilt and water immersion. *Journal of Applied Physiology*. 2016; 120: 904–914.
9. Hageman S.M., Murphy-Lavoie H.M. *Diving, immersion pulmonary edema*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2018.
10. Savushkina O.I., Chernyak A.V. *Legochnye funktsional'nye testy: ot teorii k praktike* [Pulmonary function tests: from theory to practice]. Rukovodstvo dlya vrachev. Moscow: OOO «Firma STROM»; 2017. 192 (in Russian).
11. Pochekutova I.A., Korenbaum V.I. Diagnosis of hidden bronchial obstruction using computer-assessed tracheal forced expiratory noise time. *Respirology*. 2013; 18 (3): 501–506.
12. Pochekutova I.A., Korenbaum V.I. Akusticheskaya otsenka vliyaniya odinochnogo pogruzheniya v vodolaznom snaryazhenii zakrytogo tipa na ventilyatsionnyuyu funktsiyu legkikh [Acoustic assessment of the solo diving in closed diving equipment on the lungs ventilation function]. *Fiziologiya cheloveka*. 2011; 37 (3): 76–82 (in Russian).
13. D'yachenko A.I., Korenbaum V.I., Mikhaylovskaya A.N., Osipova A.A., Suvorov A.V., Shin S.N., Pochekutova I.A. Dinamika prodolzhitel'nosti trakheal'nykh shumov forsirovannogo vydokha v usloviyakh izolyatsii u ispytateley – uchastnikov programmy «MARS-500» [Duration dynamics of the forced expiratory tracheal noises under isolation among testers participating in the MARS-500 program]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40 (1): 96–100 (in Russian).
14. Pochekutova I., Korenbaum V. An approximate estimation of human bronchial resistance under forced exhalation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2015; 191: A2092.
15. Baranov M.V., Katuntsev V.P., Shpakov A.V., Baranov V.M. Metod nazemnogo modelirovaniya fiziologicheskikh effektov prebyvaniya cheloveka v usloviyakh gipogravitatsii [Ground-based modeling of physiological effects of human exposure to hypogravity]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2015; 160 (9): 392–396 (in Russian).
16. Malaeva V.V., Korenbaum V.I., Pochekutova I.A., Kostiv A.E., Shin S.N., Katuntsev V.P., Baranov V.M. A technique of forced expiratory noise time evaluation provides distinguishing human pulmonary ventilation dynamics during long-term head-down and head-up tilt bed rest tests simulating micro and lunar gravity. *Frontiers in Physiology*. 2018; 9: 1255.