

ISSN 2227-1848



УЛЬЯНОВСКИЙ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



№ 3
2019



Учредитель

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)
(Свидетельство о регистрации средства
массовой информации
ПИ № ФС77-47790
от 14 декабря 2011 г.)

ISSN 2227-1848

**Журнал включен Высшей
аттестационной комиссией
Министерства образования и науки РФ
в Перечень российских рецензируемых
научных журналов, в которых должны
быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора
и кандидата наук**

Распространяется на территории
Российской Федерации
и в зарубежных странах

Цена – свободная

Основан в 2011 году
Выходит 4 раза в год

Подписной индекс
в каталоге «Пресса России»:
44070

Очередной номер журнала
можно приобрести в редакции

Адрес редакции:
Россия, 432017, г. Ульяновск,
ул. Набережная реки Свияги,
д. 40, корп. 3
Тел.: 8(8422)32-10-23
E-mail: ulsubook@yandex.ru

Редакционная группа:
Е.Г. Туженкова, Е.П. Мамаева,
Н.В. Пенькова

Оригинал-макет подготовлен
и тираж отпечатан
в Издательском центре
Ульяновского государственного
университета:
432017, г. Ульяновск,
ул. Л. Толстого, 42

Подписано в печать 10.09.2019.
Дата выхода в свет 10.09.2019.

Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 16,2. Тираж 500 экз.
Заказ № 73 /

УЛЬЯНОВСКИЙ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3

2019

Главный редактор – В.И. Мидленко (Ульяновск, Россия)
Заместитель главного редактора – М.В. Балыкин (Ульяновск, Россия)
Заместитель главного редактора – А.М. Шутов (Ульяновск, Россия)
Ответственный секретарь – И.В. Антипов (Ульяновск, Россия)

Редакционный совет

К. Аллегра (Рим, Италия)
П.Л. Антигнани (Рим, Италия)
Е.С. Белозеров (Санкт-Петербург, Россия)
Ш.Х. Ганцев (Уфа, Россия)
В.И. Горбунов (Ульяновск, Россия)
А.В. Жестков (Самара, Россия)
А.Г. Зарифьян (Бишкек, Кыргызстан)
В.В. Зинчук (Гродно, Беларусь)
Л.В. Кактурский (Москва, Россия)
М.В. Кукош (Нижний Новгород, Россия)
Е.И. Маевский (Пушино, Россия)
А.Л. Максимов (Магадан, Россия)
А.Б. Песков (Ульяновск, Россия)
Н.И. Потатуркина-Нестерова (Ульяновск, Россия)
А. Скудери (Сорокаба, Бразилия)
С.И. Сороко (Санкт-Петербург, Россия)
М.М. Танащян (Москва, Россия)
Е.М. Франциянц (Ростов-на-Дону, Россия)
Б.П. Чураков (Ульяновск, Россия)
А.С. Шаназаров (Бишкек, Кыргызстан)

Редакционная коллегия

И.И. Антонеева (Ульяновск, Россия)
Ш.К. Батырханов (Алматы, Казахстан)
Л.А. Белова (Ульяновск, Россия)
М.И. Бочаров (Ухта, Россия)
В.Х. Габитов (Бишкек, Кыргызстан)
Т.П. Генинг (Ульяновск, Россия)
Ю.П. Герасименко (Санкт-Петербург, Россия)
Н.Г. Камышев (Санкт-Петербург, Россия)
С.Г. Кривошеков (Новосибирск, Россия)
А.И. Кусельман (Ульяновск, Россия)
Е.Н. Маджидова (Ташкент, Узбекистан)
В.В. Машин (Ульяновск, Россия)
А.И. Мидленко (Ульяновск, Россия)
А.В. Овечкин (Луисвилль, США)
В.Е. Радзинский (Москва, Россия)
В.В. Родионов (Москва, Россия)
Е.М. Романова (Ульяновск, Россия)
В.И. Рузов (Ульяновск, Россия)
Ю.В. Саенко (Ульяновск, Россия)
Л.И. Трубникова (Ульяновск, Россия)
М.М. Филиппов (Киев, Украина)
Р.М. Хайруллин (Ульяновск, Россия)
Э. Хусуйин (Киршехир, Турция)
А.Л. Чарышкин (Ульяновск, Россия)

© Ульяновский государственный университет, 2019

* Воспроизведение всего или части данного издания
недопустимо без письменного разрешения редакции.

16+



Founder
ULYANOVSK
STATE
UNIVERSITY

The journal is registered
in the Federal Service
for Supervision
in the Sphere of Communications,
Information Technology
and Mass Communications.
Certificate of Registration
of Media Outlet ПИ
№ ФЦ77-47790, December 14, 2011.

ISSN 2227-1848

**The journal is included by the Higher
Attestation Commission of the Ministry
of Education and Science of the Russian
Federation in the list of Russian reviewed
scientific journals, in which major scientific
results of theses for academic degrees
of doctor and candidate of science have
to be published**

Circulates
on the territory
of the Russian Federation
and abroad

Price is not fixed

Founded in 2011
Issued 4 times a year

Index in catalogue "Press of Russia":
44070

The journal is available
in the editor's office

Editor's office:
Russia, 432017, Ulyanovsk,
Naberezhnaya Sviyaga River St., 40, building 3
Tel. 8(8422)32-10-23
E-mail: ulsubook@yandex.ru

Editorial team:
E.G. Tuzhenkova, E.P. Mamaeva,
N.V. Penkova

The dummy is prepared
and circulation is printed
in the Publishing Center
The Ulyanovsk State University:
432017, Ulyanovsk,
L. Tolstoy St., 42

Sent for the press 10.09.2019.
Date of the press 10.09.2019.

Format 60×84 1/8.
Print. page 16,2.
Circulation is 500 copies.
Order No. 73 /

ULYANOVSK MEDICO-BIOLOGICAL JOURNAL

№ 3
2019

Editor-in-chief – V.I. Midlenko (Ulyanovsk, Russia)
Vice editor-in-chief – M.V. Balykin (Ulyanovsk, Russia)
Vice editor-in-chief – A.M. Shutov (Ulyanovsk, Russia)
Executive editor – I.V. Antipov (Ulyanovsk, Russia)

Editorial Team

C. Allegra (Rome, Italia)
P.L. Antignani (Rome, Italia)
E.S. Belozerov (St. Petersburg, Russia)
S.K. Gantsev (Ufa, Russia)
V.I. Gorbunov (Ulyanovsk, Russia)
A.V. Zhestkov (Samara, Russia)
A.G. Zarif'yan (Bishkek, Kyrgyzstan)
V.V. Zinchuk (Grodno, Belarus)
L.V. Kakturskiy (Moscow, Russia)
M.V. Kukosh (N. Novgorod, Russia)
E.I. Maevskiy (Pushchino, Russia)
A.L. Maksimov (Magadan, Russia)
A.B. Peskov (Ulyanovsk, Russia)
N.I. Potaturkina-Nesterova (Ulyanovsk, Russia)
A. Scuderi (Sorocaba, Brazil)
S.I. Soroko (St. Petersburg, Russia)
M.M. Tanashyan (Moscow, Russia)
E.M. Frantsiyants (Rostov-on-Don, Russia)
B.P. Churakov (Ulyanovsk, Russia)
A.S. Shanazarov (Bishkek, Kyrgyzstan)

Editorial Board

I.I. Antoneeva (Ulyanovsk, Russia)
Sh.K. Batyrkhanov (Almaty, Kazakhstan)
L.A. Belova (Ulyanovsk, Russia)
M.I. Bocharov (Ukhta, Russia)
V.Kh. Gabitov (Bishkek, Kyrgyzstan)
T.P. Gening (Ulyanovsk, Russia)
Y.P. Gerasimenko (St. Petersburg, Russia)
N.G. Kamyshev (St. Petersburg, Russia)
S.G. Krivoshechekov (Novosibirsk, Russia)
A.I. Kuselman (Ulyanovsk, Russia)
E.N. Madzhidova (Tashkent, Uzbekistan)
V.V. Mashin (Ulyanovsk, Russia)
A.I. Midlenko (Ulyanovsk, Russia)
A.V. Ovechkin (Louisville, USA)
V.E. Radzinsky (Moscow, Russia)
V.V. Rodionov (Moscow, Russia)
E.M. Romanova (Ulyanovsk, Russia)
V.I. Ruzov (Moscow, Russia)
Y.V. Saenko (Ulyanovsk, Russia)
L.I. Trubnikova (Ulyanovsk, Russia)
M.M. Filippov (Kiev, Ukraine)
R.M. Khayrullin (Ulyanovsk, Russia)
E. Huseyin (Kirsehir, Turkey)
A.L. Charyshkin (Ulyanovsk, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА 8

**Морозова О.А., Шаров Д.А., Шарова Н.Н.,
Морскова В.В., Карпова А.В., Михелькова Ю.Н.**
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НЕВРОЛОГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ
НА ЭТАПЕ ПОЛИКЛИНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ8

Кукушкин Е.П., Мидленко В.И., Мидленко О.В., Белоногов Н.И.
ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ БОЛЬШОЙ ПОДКОЖНОЙ ВЕНЫ
ПРИ ТРАВМАТОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ ПО ПОВОДУ ЗАКРЫТЫХ
ПЕРЕЛОМОВ ЛОДЫЖЕК И НИЖНЕЙ/СРЕДНЕЙ ТРЕТИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ
КОСТИ НА РАЗВИТИЕ ВЕНОЗНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ22

Эдилов А.В., Татьянченко В.К., Богданов В.Л., Сухая Ю.В.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ
С ФЛЕГМОНОЙ СТОПЫ28

Мидленко В.И., Белоногов Н.И., Мидленко О.В., Чарышкин А.Л.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ДЕКОМПРЕССИИ КИШЕЧНИКА
ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ПО ПОВОДУ РАСПРОСТРАНЕННОГО ПЕРИТОНИТА
В ТОКСИЧЕСКОЙ СТАДИИ34

ФИЗИОЛОГИЯ..... 38

Игнатова Ю.П., Макарова И.И., Яковлева К.Н., Аксенова А.В.
ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНЫЕ РЕАКЦИИ КАК ИНДИКАТОР
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ38

Ветош А.Н.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ В КЛЕТКЕ52

Ануфриев Г.Н., Зинченко М.И., Гульятеева В.В., Урюмцев Д.Ю., Кривошеков С.Г.
ВЛИЯНИЕ «БОС-ПУЛЬС»-ТРЕНИНГОВ НА ГИПОКСИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ.....63

Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С.
ЗНАЧЕНИЕ МОТИВАЦИИ В ПЕРЕНОСИМОСТИ УВЕЛИЧЕННОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЫХАНИЮ.....72

Малаева В.В., Костив А.Е., Кабанцова О.И., Почекутова И.А., Коренбаум В.И.
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ
ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА В ЗАДАЧАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФИЗИОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАХЕАЛЬНЫХ ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА80

Костив А.Е., Коренбаум В.И.
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОЛАЗОВ
В ПРОЦЕССЕ ПОДВОДНОГО ПОГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОВ,
СВЯЗАННЫХ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ДЫХАНИЕМ89

Павленко С.И., Ведясова О.А.
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАТТЕРНА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ
У СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМИ ХРОНОТИПАМИ.....98

Якимович И.Ю., Котловский М.Ю., Гусакова С.В., Иванов В.В., Васильев В.Н., Дыгай А.М., Долгалев И.В., Панимаскина А.В., Котловская Л.Ю., Самойлова Ю.О. СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ЖИРОВОЙ ТКАНИ КРЫС ПРИ АНАЭРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ НА ФОНЕ ПИТАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТИ	106
Аль-Шаммари Мохаммед Ясим Исмаел ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПЕРВОКУРСНИКОВ РАЗНЫХ ЭТНИЧЕСКИХ ГРУПП С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ МОЩНОСТИ СУММАРНОГО СПЕКТРА	114
Андрянов А.И., Сметанин А.Л., Селезнев А.П., Белозеров Е.С., Корнеева А.А., Ищук Ю.В., Мартынова Е.С. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА И ЧЕРНОГО ЧАЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПИТЬЕВОМУ РЕЖИМУ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ	125
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	135

CONTENTS

CLINICAL MEDICINE	8
Morozova O.A., Sharov D.A., Sharova N.N., Morskova V.V., Karpova A.V., Mikhel'kova Yu.N. ANALYSIS OF NEUROLOGICAL PATHOLOGY IN AN OUTPATIENT TREATMENT PROGRAM.....	8
Kukushkin E.P., Midlenko V.I., Midlenko O.V., Belonogov N.I. TRAUMATOLOGICAL OPERATIONS FOR CLOSED ANKLE AND LOWER/MIDDLE THIRD OF TIBIA FRACTURES ON VENOUS INSUFFICIENCY DEVELOPMENT	22
Edilov A.V., Tat'yanchenko V.K., Bogdanov V.L., Sukhaya Yu.V. INTENSIFICATION OF COMBINED THERAPY IN PATIENTS WITH FOOT PHLEGMON.....	28
Midlenko V.I., Belonogov N.I., Midlenko O.V., Charyshkin A.I. COMPARATIVE EVALUATION OF GUT DECOMPRESSION METHODS IN OPERATIONS ON TOXIC WIDESPREAD PERITONITIS.....	34
PHYSIOLOGY	38
Ignatova Yu.P., Makarova I.I., Yakovleva K.N., Aksenova A.V. VISUAL-MOTOR REACTIONS AS AN INDICATOR OF CNS FUNCTIONAL STATE	38
Vetosh A.N. INTERACTION OF OXYGEN-SENSING MECHANISMS IN CELLS	52
Anufriev G.N., Zinchenko M.I., Gul'tyaeva V.V., Uryumtsev D.Yu., Krivoshechekov S.G. INFLUENCE OF BIOFEEDBACK-PULSE-TRAINING ON HYPOXIC STABILITY.....	63
Byalovskiy Yu.Yu., Rakitina I.S. IMPORTANCE OF MOTIVATION IN TOLERABILITY OF INCREASED BREATHING RESISTANCE	72
Malaeva V.V., Kostiv A.E., Kabantsova O.I., Pochekutova I.A., Korenbaum V.I. NEW POSSIBILITIES FOR HUMAN LUNGS VENTILATION FUNCTION CONTROL IN SPECIAL PHYSIOLOGY TASKS USING TRACHEAL NOISES OF FORCED EXPIRATION.....	80
Kostiv A.E., Korenbaum V.I. NEW POSSIBILITIES FOR DIVER'S MONITORING DURING UNDERWATER DIVING USING NOISES ASSOCIATED WITH NATURAL RESPIRATION	89
Pavlenko S.I., Vedyasova O.A. SEASONAL CHARACTERISTICS OF EXTERNAL RESPIRATION PATTERN IN STUDENTS WITH DIFFERENT CHRONOTYPES.....	98

Yakimovich I.Yu., Kotlovskiy M.Yu., Gusakova S.V., Ivanov V.V., Vasil'ev V.N., Dygay A.M., Dolgalev I.V., Panimaskina A.V., Kotlovskaya L.Yu., Samoylova Yu.O. FATTY ACID CONTENTS IN RAT ADIPOSE TISSUES UNDER ANAEROBIC EXERCISE AND HIGH-CALORIE DIETS	106
Al'-Shammari Mohammed Jasim Ismael HEART RHYTHM REGULATION IN FIRST-YEAR STUDENTS OF DIFFERENT ETHNIC GROUPS PROVIDING FOR THE POWER STRUCTURE OF TOTAL SPECTRUM	114
Andriyanov A.I., Smetanin A.L., Seleznev A.P., Belozarov E.S., Korneeva A.A., Ishchuk Yu.V., Martynova E.S. COMPARATIVE PHYSIOLOGICAL AND HYGIENIC EVALUATION OF VITAMIN AND MINERAL COMPOSITION OF DRINKS BASED ON WILD ROSEHIPS AND BLACK TEA IN THE WATER-INTAKE REGIME OF MILITARY MEN	125
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	135

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

УДК 616-079.6

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-8-21

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НЕВРОЛОГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ НА ЭТАПЕ ПОЛИКЛИНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ

О.А. Морозова¹, Д.А. Шаров¹, Н.Н. Шарова²,
В.В. Морскова¹, А.В. Карпова¹, Ю.Н. Михелькова¹

¹ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Минздрава Чувашии, г. Чебоксары, Россия;

²БУ «Центральная городская больница» Минздрава Чувашии, г. Чебоксары, Россия

e-mail: drmorozova@mail.ru

Научно обоснованная интерпретация анамнестических и объективных данных пациентов, обратившихся к врачу-неврологу поликлиники, занимает особое место в повышении качества диагностической и лечебно-реабилитационной помощи, так как главное направление деятельности поликлинической службы – своевременное выявление и профилактика болезней.

Цель – выявить дифференциально-диагностические особенности ранних проявлений неврологической патологии у пациентов врача-невролога поликлиники с целью оптимизации нейрореабилитационных и профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Обследовано 128 пациентов, обратившихся к неврологу поликлиники в течение месяца. Выделены две возрастно-половые группы (муж. – 40 чел., жен. – 88 чел.). Средний возраст пациентов – $53,8 \pm 5,6$ года. Проведены сбор анамнестических сведений методами опроса и анкетирования, неврологический осмотр, инструментально-лабораторные исследования, анализ полученных результатов в соответствии с верифицированными диагнозами по МКБ-10.

Результаты. Выделены социальные и возрастно-половые группы, численно преобладающие в структуре неврологического поликлинического приема (пенсионеры и инвалиды в возрастном диапазоне 50–69 лет). Установлена взаимосвязь клинических проявлений неврологической патологии, особенностей производственно-бытовой сферы и социокультурального профиля пациентов. В структуре причин общей заболеваемости лиц, занятых в сфере производства, преобладающий удельный вес имели вредные условия труда и производственные стрессы. Наиболее часто диагностируемая патология нервной системы – цереброваскулярные болезни (в т.ч. дисциркуляторная энцефалопатия), вестибулопатии, болевые синдромы (в т.ч. цефалгический синдром), астенический и тревожный синдромы, вегетососудистая дистония.

Выводы. Своевременная ранняя (доклиническая) диагностика неврологической патологии с разработкой индивидуализированных нейрореабилитационных и профилактических программ на этапе поликлинической помощи предоставит возможность повышения эффективности диспансеризации, направленной на предупреждение возникновения и прогрессирования болезней нервной системы, в тяжелых стадиях, требующих высоких экономических затрат.

Ключевые слова: поликлиника, анализ структуры неврологической заболеваемости, цереброваскулярная патология, факторы риска, стресс.

Введение. По статистическим данным заболеваемости в Чувашии за последнее пятилетие наибольшее количество больных выявлено на предприятиях машиностроения, строительной индустрии, сельского хозяйства [1]. В структуре профессиональной патологии первое место занимают болезни орга-

нов дыхания (воздействие пыли, химических веществ), второе место – заболевания опорно-двигательного аппарата (воздействие физических перегрузок), на третьем месте – болезни, вызванные физическими факторами (вибрация, шум). В связи с ростом профессиональной патологии [2–4] необходимо про-

водить научно обоснованную интерпретацию анамнестических и объективных данных пациента для повышения качества диагностической, лечебно-реабилитационной и профилактической помощи на этапе поликлинического звена [5–7].

Цель исследования. Выделить дифференциально-диагностические особенности ранних проявлений неврологической патологии в структуре поликлинического приема для оптимизации реабилитационных и профилактических мероприятий.

В связи с поставленной целью необходимо проанализировать структуру неврологического поликлинического приема для определения индивидуальных личностных особенностей пациентов, выделения наиболее часто диагностируемой неврологической патологии, установления факторов риска и их причинно-следственных связей с заболеваниями, побуждающими пациентов обращаться за медицинской помощью к врачу-неврологу поликлиники.

Материалы и методы. Исследование проведено в условиях поликлинического неврологического приема [8]. Обследовано 128 больных, обратившихся к неврологу поликлиники в течение месяца [9]. Средний

возраст пациентов составил $53,8 \pm 5,6$ года (минимальный – 22 года, максимальный – 82 года). Все обследуемые были разделены на две возрастно-половые группы. В первую группу вошли мужчины – 40 чел. (31,3 %), вторую группу составили женщины – 88 чел. (68,7 %). По возрастным периодам выделено 6 диапазонов (от 22 до 79 лет).

Исследование включало сбор жалоб и анамнестических данных с помощью опроса и анкетирования [10], неврологический осмотр, анализ сопоставления анамнестических и клинических результатов с установленными диагнозами по МКБ-10, инструментальные и лабораторные методы верификации диагноза [11]. Статистическая обработка данных проводилась с использованием параметрических критериев Стьюдента.

Результаты. Распределение основных групп по возрастным диапазонам (табл. 1) выявило значительное преобладание лиц женского пола во всех возрастных группах и преобладание удельного веса пациентов в возрастных периодах 60–69 (27,3 %) и 50–59 лет (22,7 %). Отмечается более высокий удельный вес мужчин в возрасте 50–59 (25,0 %) и 60–69 лет (20,0 %), женщин – в возрасте 60–69 (77,1 %) и 70–79 лет (72,2 %).

Таблица 1

Распределение пациентов по возрастным диапазонам

Возрастные группы, лет	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по возрасту	% по группе	чел.	% по возрасту	% по группе
22–29	14	10,9	5	35,7	12,5	9	64,3	10,2
30–39	15	11,7	6	40,0	15,0	9	60,0	10,2
40–49	15	11,7	5	33,3	12,5	10	66,7	11,4
50–59	29	22,7	10	34,5	25,0	19	65,5	21,6
60–69	35	27,3	8	22,9	20,0	27	77,1	30,7
70–79	18	14,1	5	27,8	12,5	13	72,2	14,8
≥80	2	1,6	1	50,0	2,5	1	50,0	1,10
Всего	128	100,0	40	31,3	100,0	88	68,7	100,0

Изучение состояния образовательного уровня пациентов (табл. 2) выявило наибольший удельный вес лиц, имеющих высшее образование (40,8 %). Обследуемые со средним образованием составили 31,1 %. Среднее спе-

циальное образование имели 26,2 % больных. В группе лиц мужского пола наиболее часто встречались пациенты со средним образованием (37,6 %), среди лиц женского пола – пациенты с высшим образованием (45,1 %).

Таблица 2

Распределение пациентов по уровню образования

Образование	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по образованию	% по группе	чел.	% по образованию	% по группе
Высшее	42	40,8	10	23,8	31,2	32	76,2	45,1
Среднее специальное	27	26,2	10	37,0	31,2	17	63,0	23,9
Среднее	32	31,1	12	37,5	37,6	20	62,5	28,2
Неоконченное высшее	2	1,9	0	-	-	2	100,0	2,8
Всего указали образование	103	100,0/ 80,5	32	31,1	100,0/ 80,0	71	68,9	100,0/ 80,7
Не указали образование	25	19,5	8	32,0	20,0	17	68,0	19,3
Всего пациентов	128	100,0	40	-	100,0	88	-	100,0

Анализ распределения пациентов по социальному статусу (табл. 3) выявил значительное преобладание пенсионеров и инвалидов (43,5 %). Меньший удельный вес имели рабочие (24,3 %) и служащие (22,6 %). Пенсионеры и инвалиды преобладали в каждой основной группе мужчин и женщин (37,1 и 46,3 % соответственно). Второе место по частоте среди лиц мужского пола занимали рабочие (28,6 %), среди женщин – служащие и рабочие (23,8 и 22,5 % соответственно).

Изучение условий труда работающих пациентов (табл. 4) выявило в большинстве случаев наличие негативных производственных факторов или вредных условий труда (86,1 %). Наиболее высокий удельный вес имели длительное пребывание в вынужденной позе (31,7 %), включая положение сидя (27,7 %), и тяжелый физический труд (14,8 %). Равное влияние оказывали работа в ночное время суток и воздействие шума

(8,9 %). Меньшее значение имела запыленность (7,9 %). Факторы холода и вибрации распределились в равной степени (по 5,0 %), работа с химикатами составила 3,9 %. Не имели вредных условий труда 13,9 % обследованных. По группам мужчин и женщин наибольший удельный вес имели длительное пребывание в вынужденной позе (32,3 и 31,4 % соответственно), включая положение сидя (29,0 и 27,1 % соответственно), и тяжелый физический труд (22,6 и 11,4 % соответственно). Меньший удельный вес в группе мужчин имела работа в ночное время суток (9,7 %), в группе женщин – воздействие шума, работа в ночные часы и запыленность (10,0 и по 8,6 % соответственно).

Что касается числа факторов вредных условий труда, воздействующих на человека одновременно (табл. 5), то преобладали указания на влияние одного (среди всех пациентов – 56,2 %; по группам мужчин и женщин –

52,4 и 57,7 % соответственно). В значительно меньшем числе наблюдений выявлено воздействие двух (среди всех пациентов – 16,4 %; среди мужчин – 23,8 %, женщин – 13,5 %), трех и более факторов (всего 8,2 %; мужчины – 9,5 %, женщины – 7,7 %).

Исследование значимости фактора стресса (табл. 6) в большинстве случаев показало наличие его влияния на пациентов (56,9 %) с заметным преобладанием в группе женщин (68,2 %). Высокий удельный вес имел производственный стрессовый фактор (21,6 %), также преобладающий у женщин (72 %). Воздействие стресса бытового происхождения выявлено в 10,3 % случаев, смешанного характера (на производстве и в быту) – в 4,3 % (также преобладало среди женщин: бытового – 75,0 %, смешанного – 80,0 %). Не имели стрессовых ситуаций 43,1 % пациентов.

Влияние фактора стресса по группам мужчин и женщин имело место в 55,3 и 57,7 % случаев соответственно. Наибольший

удельный вес имел производственный стресс (мужчины – 18,4 %, женщины – 23,1 %). Влияние бытового стресса отмечено у женщин в 11,5 % случаев, у мужчин – в 7,9 %.

Количественный анализ субъективных симптомов (табл. 7) в обеих основных группах выявил заметное преобладание пациентов с двумя доминирующими жалобами (32,8 %). Меньший удельный вес имели пациенты с тремя жалобами (23,4 %). Небольшое число пациентов предъявляли по одной жалобе (21,9 %). По группам мужского и женского пола преобладали пациенты, предъявлявшие по две и три жалобы: в мужской группе – 30 и 25 % соответственно, в женской группе – 34,5 и 23,0 % соответственно. Удельный вес мужчин с одной жалобой составил 22,5 %, женщин – 21,8 %. Полиморфизм жалоб (4 и более) наблюдался в небольшом числе случаев (14,8 %) с выраженным преобладанием в группе лиц женского пола (17,2 %).

Таблица 3

Распределение пациентов по социальному статусу

Социальный статус	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по социальному статусу	% по группе	чел.	% по социальному статусу	% по группе
Служащий	26	22,6	7	26,9	20,0	19	73,1	23,8
в т.ч. руководитель	5	4,4	2	40,0	5,7	3	60,0	3,8
Рабочий	28	24,3	10	35,7	28,6	18	64,3	22,5
Пенсионер / инвалид	50	43,5	13	26,0	37,1	37	74,0	46,3
Опекун	1	0,9	0	-	-	1	-	1,2
Безработный	8	7,0	5	62,5	14,3	3	37,5	3,7
Учащийся	2	1,7	0	-	-	2	-	2,5
Всего указали социальный статус	115	100,0/ 89,8	35	30,4	100,0/ 87,5	80	69,6	100,0/ 90,9
Не указали социальный статус	13	10,2	5	38,5	12,5	8	61,5	9,1
Всего пациентов	128	100,0	40	-	100,0	88	-	100,0

Таблица 4

Структура вредных условий труда

Вредные условия труда	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по условиям труда	% по группе	чел.	% по условиям труда	% по группе
Тяжелый физический труд	15	14,8	7	46,7	22,6	8	53,3	11,4
Работа в ночное время суток	9	8,9	3	33,3	9,7	6	66,7	8,6
Шум	9	8,9	2	22,2	6,5	7	77,8	10,0
Запыленность	8	7,9	2	25,0	6,5	6	75,0	8,6
Холод	5	5,0	1	20,0	3,2	4	80,0	5,7
Вибрация	5	5,0	2	40,0	6,5	3	60,0	4,3
Контакт с химикатами	4	3,9	1	25,0	3,2	3	75,0	4,3
Длительная вынужденная поза	32	31,7	10	31,3	32,3	22	68,7	31,4
в т.ч. положение сидя	28	27,7	9	32,1	29,0	19	67,9	27,1
Всего имеющие вредные условия труда (от всех указавших)	87	86,1	28	32,2	90,3	59	67,8	84,3
Всего не имеющих вредных условий труда (от всех указавших)	14	13,9	3	21,4	9,7	11	78,6	15,7
Всего указавшие условия труда	101	100,0/ 78,9	31	100,0	100,0/ 77,5	70	100,0	100,0/ 79,5
Всего не указавших условий труда	27	21,1	9	33,3	22,5	18	66,7	20,5
Всего пациентов	128	100,0	40	-	100,0	88	-	100,0

Изучение структуры субъективных симптомов пациентов обеих групп (табл. 8) выявило значительное преобладание указаний на боли (64,8 %). Наибольший удельный вес болевого синдрома отмечался в женской группе (73,5 %). В болевом синдроме резко преобладали головные боли (43,8 %). Боли в области шеи и поясницы выявлены почти в равном количестве случаев (9,4 и 10,2 % соответ-

ственно). Высокий удельный вес в жалобах имели головокружение (28,9 %) и нарушения ходьбы (18,8 %), меньший – чувство онемения (12,5 %) преимущественно в пальцах кистей, общая слабость и быстрая утомляемость (10,2 %), нарушения памяти и забывчивость (8,6 %). С равной частотой беспокоили слабость в конечностях, шум в голове (7,8 %), тревожность и нарушения сна (6,3 %). Анализ

структуры субъективной симптоматики по группам (табл. 8) выявил заметное преобладание болевого синдрома (мужчины – 55,0 %; женщины – 70,1 %). В болевом синдроме головные боли составили у мужчин 37,5 %, у женщин 47,1 %. Головокружение в группах мужчин и женщин наблюдалось в 30,0 и 28,7 % случаев соответственно. Высокий удельный вес в жалобах мужчин имели нарушения ходьбы (22,5 %) и чувство онемения (20,0 %) преимущественно в пальцах кистей (12,5 %), у женщин – нарушения ходьбы (17,2 %), общая слабость и быстрая утомляемость (13,8 %). Жалобы на боли в пояснице с заметным преобладанием предъявляли мужчины – 15,0 % (женщины – 8 %), на боли в об-

ласти шеи – женщины – 11,5 % (мужчины – 5 %). Суставные боли мужчины отмечали в 7,5 % случаев, женщины – в 3,4 %. Нарушения памяти и забывчивость преобладали у мужчин – 15 % (женщины – 5,7 %), тревожность и нарушения сна – у женщин – 8 % (мужчины – 2,5 %).

Анализ структуры заболеваемости по основной неврологической патологии (табл. 9) позволил установить резкое преобладание удельного веса сосудистой патологии головного мозга (69,5 %). На уровне поликлинического звена в эту группу болезней были включены цереброваскулярные болезни, дисциркуляторная энцефалопатия, хроническая недостаточность мозгового кровообращения.

Таблица 5

**Количество факторов вредных условий труда,
одновременно воздействующих на пациента**

Вредные условия труда, единиц	Всего		В том числе			
			мужчины		женщины	
	чел.	%	чел.	% по группе	чел.	% по группе
0	14	19,2	3	14,3	11	21,1
1	41	56,2	11	52,4	30	57,7
2	12	16,4	5	23,8	7	13,5
≥3	6	8,2	2	9,5	4	7,7
Всего указавшие частоту воздействия (от всех указавших)	73	100,0/72,3	21	100,0/67,7	52	100,0/74,3
Всего не указавшие частоту воздействия (от всех указавших)	28	27,7	10	32,3	18	25,7
Всего указавшие условия труда (от всех пациентов)	101	100,0/78,9	31	100,0/77,5	70	100,0/79,5
Всего не указавших условий труда (от всех пациентов)	27	21,1	9	22,5	18	20,5
Всего пациентов	128	100,0	40	100,0	88	100,0

Таблица 6

Влияние фактора стресса

Фактор стресса		Всего		В том числе					
				мужчины			женщины		
		чел.	%	чел.	% по фактору	% по группе	чел.	% по фактору	% по группе
Имеется		66	56,9	21	31,8	55,3	45	68,2	57,7
в т.ч.	на производстве	25	21,6	7	28,0	18,4	18	72,0	23,1
	в быту	12	10,3	3	25,0	7,9	9	75,0	11,5
	на производстве и в быту	5	4,3	1	20,0	2,6	4	80,0	5,1
Не имеется		50	43,1	17	34,0	44,7	33	66,0	42,3
Всего выделивших влияние фактора стресса (от всех пациентов)		116	100,0/ 90,6	38	32,8	100,0/ 95,5	78	67,2	100,0/ 88,6
Всего не указавших влияние фактора стресса (от всех пациентов)		12	9,4	2	16,7	5,0	10	83,3	11,4
Всего пациентов		128	100,0	40	-	100,0	88	-	100,0

Таблица 7

Количественное распределение субъективных симптомов (жалоб)

Количество жалоб	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по показателю	% по группе	чел.	% по показателю	% по группе
Нет	8	6,3	5	62,5	12,5	3	37,5	3,5
1	28	21,9	9	32,1	22,5	19	67,9	21,8
2	42	32,8	12	28,6	30,0	30	71,4	34,5
3	30	23,4	10	33,3	25,0	20	66,7	23,0
≥4	19	14,8	4	21,1	10,0	15	79,0	17,2
Нет данных	1	0,78	-	-	-	-	-	-
Всего пациентов	128	100,0	40	31,3	100,0	88	68,7	100,0

Таблица 8

Структура субъективных симптомов

Субъективные симптомы		Всего		В том числе					
				мужчины			женщины		
		чел.	%	чел.	% по симптому	% по группе	чел.	% по симптому	% по группе
Боли		83	64,8	22	26,5	55,0	61	73,5	70,1
в т.ч.	головные	56	43,8	15	26,8	37,5	41	73,2	47,1
	в пояснице	13	10,2	6	46,2	15,0	7	53,8	8,0
	в шее	12	9,4	2	16,7	5,0	10	83,3	11,5
	в суставах	6	4,7	3	50,0	7,5	3	50,0	3,4
Головокружение		37	28,9	12	32,4	30,0	25	67,6	28,7
Шум в голове / в ушах		10	7,8	2	20,0	5,0	8	80,0	9,2
Снижение слуха		8	6,3	2	25,0	5,0	6	75,0	6,9
Чувство онемения		16	12,5	8	50,0	20,0	8	50,0	9,2
в т.ч. пальцев кисти		8	3,9	5	62,5	12,5	3	37,5	3,4
Слабость конечностей		10	7,8	5	50,0	12,5	5	50,0	5,7
Шаткость, затруднение ходьбы		24	18,8	9	37,5	22,5	15	62,5	17,2
в т.ч. причины:									
головокружение		13	10,2	3	23,1	7,5	10	76,9	11,5
боли в ногах		9	7,1	6	66,7	15,0	3	33,3	3,4
Общая слабость / быстрая утомляемость		13	10,2	1	7,7	2,5	12	92,3	13,8
Нарушение сна		8	6,3	1	12,5	2,5	7	87,5	8,0
Тревожность		8	6,3	1	12,5	2,5	7	87,5	8,0
Нарушение памяти / забывчивость		11	8,6	6	54,5	15,0	5	45,5	5,7
Всего пациентов, предъявивших жалобы, включая повторяющиеся (от всех пациентов)		120	100,0/ 93,8	35	29,2	100,0/ 87,5	85	70,8	100,0/ 96,6
Всего пациентов, не предъявивших жалоб (от всех пациентов)		8	6,2	5	62,5	12,5	3	37,5	3,4
Всего пациентов		128	100,0	40	-	100,0	88	-	100,0

Таблица 9

Структура заболеваемости по неврологической патологии

Установленный диагноз	Всего		В том числе					
			мужчины			женщины		
	чел.	%	чел.	% по диагнозу	% по группе	чел.	% по диагнозу	% по группе
Сосудистая патология головного мозга	89	69,5	23	25,8	57,5	66	74,2	75,0
Атеросклероз БЦА	11	8,6	3	27,3	7,5	8	72,7	9,1
ВСД	15	11,7	3	20,0	7,5	12	80,0	13,6
Астенический синдром (в т.ч. неврастенический, тревожный)	27	21,1	6	22,2	15,0	21	77,8	23,9
Головная боль	15	11,7	2	13,3	5,0	13	86,7	14,8
в т.ч. напряжения	5	3,9	0	-	-	5	100,0	5,7
Когнитивные нарушения	12	9,4	6	50,0	15,0	6	50,0	6,8
Органическое расстройство личности	1	0,8	1	-	2,5	0	-	-
Вестибулопатия	32	25,0	7	21,9	17,5	25	78,1	28,4
Болевой синдром (боль в спине)	14	10,9	5	35,7	12,5	9	64,3	10,2
Люмбаишиалгия	7	5,5	3	42,9	7,5	4	57,1	4,6
Грыжи межпозвоночных дисков	7	5,5	3	42,9	7,5	4	57,1	4,6
Остеохондроз	7	5,5	1	14,3	2,5	6	85,7	6,8
Цервикалгия	9	7,1	1	11,1	2,5	8	88,9	9,1
Невралгия тройничного нерва	3	2,3	0	-	-	3	-	3,4
Черепно-мозговая травма	5	3,9	4	80,0	10,0	1	20,0	1,1
Паркинсонический синдром	3	2,3	1	-	2,5	2	-	2,3
Полинейропатия	4	3,1	3	75,0	7,5	1	25,0	1,1
Другие	25	18,0	6	26,1	15,0	9	73,9	10,2
Всего пациентов (включая со сложными диагнозами)	128	100,0	40	31,3	100,0	88	68,8	100,0

Атеросклероз брахиоцефальных артерий (БЦА) диагностирован в 8,6 % случаев. Когнитивные расстройства отмечены у 9,4 % пациентов [12, 13]. Высокий удельный вес имели вестибулопатии (25,0 %) и астенический синдром (21,1 %). В равном процентном соотношении диагностированы вегетососудистая дистония (ВСД) и цефалгический синдром (11,7 %). В структуре цефалгического синдрома 3,9 % заняла головная боль напряжения. Боль в спине выявлена в 10,9 % случаев, цервикалгия – в 7,1 %. Относительно равномерно распределились остеохондроз, люмбоишиалгии, грыжи межпозвонковых дисков (5,5 %). Менее часты были обращения по поводу черепно-мозговой травмы (3,9 %), полинейропатий (3,1 %) и паркинсонического синдрома (2,3 %).

По группам лиц мужского и женского пола наибольший удельный вес имела сосудистая патология головного мозга (57,5 и 75,0 % соответственно). Менее представлены вестибулопатии (мужчины – 17,5 %, женщины – 28,4 %). В мужской группе отмечено относительно равномерное распределение астенического синдрома (15 %), когнитивных расстройств (15 %) и болевого синдрома (12,5 %). В группе женщин астенический синдром диагностирован в 23,9 % случаев, головная боль – в 14,8 %, ВСД – в 13,6 %, боль в спине – в 10,2 %.

В целом в структуре заболеваемости поликлинического приема значительно преобладала сосудистая патология головного мозга (69,5 %). Высокий удельный вес имели вестибулопатии (25 %) и астенический синдром (21,1 %). Достаточно часто регистрировалась головная боль (11,7 %), вегетососудистая дистония (11,7 %) и боли в спине (10,9 %).

Обсуждение. Анализ возрастно-полового состава выявил наибольшее число пациентов в возрастных группах 60–69 и 50–59 лет со значительным преобладанием лиц женского пола. Более высокий удельный вес мужчин отмечен в возрасте 50–59 лет, женщин – 60–69 лет. Среди всех пациентов отмечено более частое посещение поликлиники лицами, имеющими высшее образование (40,8 %). По социальному статусу в общем числе пациентов значительно преобладали пенсионеры и

инвалиды (43,5 %). Рабочие и служащие имели меньший удельный вес.

Преобладание пациентов пожилого возраста и лиц женского пола в условиях поликлинического неврологического приема обусловлено возрастно-половыми особенностями, гормональными изменениями в пожилом возрасте (климактерический период), усилением воздействия метеогелиофакторов и биологических ритмов [14, 15]. Большое значение имеют выраженные мотивационные и эмоциональные факторы [16, 17] – стремление найти успокоение в лице врача, устранение семейных обязанностей (взрослые дети, установившиеся семейные отношения, позитивная стабилизация бытовых условий). Частой причиной заболеваемости у женщин является длительное пребывание в вынужденной позе, особенно в положении сидя. Рабочее сидячее положение является основной составляющей многих профессий: бухгалтер, учитель, швея, станочник, рабочий конвейера, специалист по компьютерным программам. Длительное вынужденное сидячее положение, особенно в неудобных позах, способствует прогрессированию микротравматизации шейного отдела позвоночника, развитию спондилоартроза, подвывихов позвонков, возникновению заднего шейного симпатического синдрома. У лиц мужского пола в большей степени можно отметить нарастание возрастных и ситуационно-профессиональных изменений в позвоночнике (тяжелый физический труд, микротравматизация поясничного отдела позвоночника водителей транспорта, действие вибрации).

Другой мотивацией посещения поликлиники являются личностные особенности пациентов и изменения быта в пожилом и старческом возрасте. У человека, занятого в производстве, нет достаточного времени для визита к врачам поликлиники, проведения различных обследований, консультаций разных специалистов. Работающие люди зачастую лечатся самостоятельно народными средствами. Неработающие пенсионеры и инвалиды имеют достаточно много свободного времени для посещения врачей поликлиники и стационара и проведения множественных лабораторно-инструментальных исследований.

Изучение влияния на занятых в производстве пациентов вредных условий труда показало значительный удельный вес больных этой категории (86,1 %). Всеми пациентами отмечены стрессы производственного характера. Среди всех негативных производственных факторов основными являются длительное пребывание в вынужденной позе и в положении сидя и тяжелый физический труд. Высокий удельный вес имеет фактор стресса (56,9 %), заметно преобладающий у лиц женского пола (68,2 %). Кроме того, женщины в основном указывали на смешанный характер стресса (на производстве и в быту), а мужчины – на производственный [18].

Количественный анализ субъективной симптоматики выявил преобладание пациентов мужского и женского пола с 2 или 3 жалобами. Полиморфизм субъективных симптомов наблюдался у небольшого числа пациентов, среди которых значительное преимущество принадлежит женщинам (79,0 %). Наиболее частыми жалобами пациентов по результатам изучения структуры субъективной симптоматики были жалобы на боли (64,8 %) со значительным преобладанием болевого синдрома у лиц женского пола (73,5 %). Наибольший удельный вес занимали головные боли (43,8 %). Отмечены значимые различия в распределении болевого синдрома среди мужчин и женщин: преобладание болей в спине у мужчин, в области шеи – у женщин. Вторыми по частоте субъективными симптомами были головокружения (28,9 %) и нарушения ходьбы (18,8 %). Выделены жалобы на повышенную утомляемость, слабость, нарушения памяти, забывчивость, тревожность, расстройства сна.

В структуре установленных диагнозов наиболее высокий удельный вес имеет сосудистая патология головного мозга (69,5 %), в которой преобладает дисциркуляторная энцефалопатия, что объясняется в большей степени возрастными нарушениями сердечно-сосудистой системы, преимущественно сопровождающимися атеросклерозом и артери-

альной гипертензией [19]. В возрастном аспекте расстройства церебральной макро- и микрогемодинамики обусловлены изменением агрегационных и реологических свойств крови, замедлением мозгового кровотока, нарушением системного кровообращения. В организации гемодинамики головного мозга наследственные анатомо-функциональные изменения, сопряженные с эмоциональными аффектами в производственных и бытовых условиях, оказывают основное воздействие на качественную составляющую состояния здоровья человека. Высокий удельный вес цереброваскулярной патологии во многом обусловлен и преобладанием в структуре пациентов поликлиники лиц пенсионного возраста и инвалидов. С меньшей частотой выявлялись вестибулопатии, астенические синдромы, сопряженные с невротическими и тревожными проявлениями, ВСД [20]. В большинстве наблюдений имело место сочетание психических, невротических, эмоциональных и возрастно-соматических факторов.

Заключение. Динамическое многофакторное изучение структуры неврологической патологии на уровне поликлинического звена имеет существенное значение для ранней достоверной диагностики болезней нервной системы, комплексной оценки целесообразности и необходимости в сложных лабораторно-инструментальных методах визуализации. В условиях поликлинического приема при постановке диагноза неврологического заболевания важно учитывать личностные особенности реагирования пациента на стрессовые ситуации производственного и бытового происхождения. При проведении профилактических осмотров населения особое внимание необходимо уделять лицам старших возрастных групп, занятым в производственной сфере с воздействием негативных условий труда, и пенсионерам, включая инвалидов, для формирования групп пациентов с повышенным риском развития неврологической патологии, особое место в которой занимают сосудистые заболевания головного мозга.

Литература

1. Богданова Т.Г., Ананьева С.И., Герасимова Л.И. Особенности заболеваемости населения Чувашской Республики в 2013 г. *Здравоохранение Чувашии*. 2014; 2: 15–21.
2. Бойцов С.А., Чучалин А.Г. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний: рекомендации. М.: МЗ РФ; 2013. 128.
3. Кадыров Ф.Н. Экономические методы оценки эффективности деятельности медицинских учреждений. 2-е изд. М.: ИД «Менеджер здравоохранения»; 2011. 469.
4. Медик В.А., Юрьев В.К. Общественное здоровье и здравоохранение. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015. 288.
5. Кучеренко В.З., ред. Организация и оценка качества лечебно-профилактической помощи населению: учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008. 559.
6. Горобчук В.Г., Бунь Н.А., Яхно Г.Г., Логинов А.Н. Социологическое исследование качества медицинского обслуживания. *Советское здравоохранение*. 1990; 8: 19–23.
7. Гата А.С. Пути достижения стабилизации состояния здоровья населения России. *Здравоохранение*. 2001; 1: 12–16.
8. Доютова М.В. Организационно-методические подходы к совершенствованию оказания амбулаторно-поликлинической помощи. *Медицинский альманах*. 2012; 1: 17–20.
9. Скоромец А.А., Скоромец А.П., Скоромец Т.А. Практикум к занятиям в клинике неврологии: учеб. пособие. М.: МЕДпресс-информ; 2011. 288.
10. Паршина Ю.В., Кононова И.В. Особенности социального статуса, образа и качества жизни лиц пожилого и старческого возраста. Актуальные вопросы организации здравоохранения и общественного здоровья: материалы межрегиональной научно-практической конференции. 21 марта 2014. Оренбург; 2014: 123–127.
11. Трошин В.Д. Нервные болезни: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ООО «Медицинское информационное агентство»; 2013. 448.
12. Яхно Н.Н. Когнитивные расстройства в неврологической клинике. *Неврологический журнал*. 2006; 11 (1): 4–12.
13. Nelson A.P., O'Connor M.G. Mild cognitive impairment: a neuropsychological perspective. *CNS Spectr.* 2008; 13 (1): 56–64.
14. Герасимчук М.Ю. Прогностическая значимость оценки биологических ритмов при депрессии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018; 118 (9): 17–21.
15. Варламова Н.Г., Зенченко Т.А., Бойко Е.Р. Годовая динамика артериального давления и метеочувствительность у женщин. *Тер. арх.* 2017; 89 (12): 56–63.
16. Танащян М.М., Бархатов Д.Ю., Родионова Ю.В., Коновалов Р.Н. Новые подходы к коррекции когнитивных нарушений у больных с хроническими цереброваскулярными заболеваниями. Неотложные состояния в неврологии: труды национального конгресса. 2–3 декабря 2009. Москва; 2009: 168–171.
17. Никольская И.Н., Гусева И.А., Близневская Е.В. Роль тревожных расстройств при гипертонической болезни и возможности их коррекции. *Лечащий врач*. 2007; 3: 89–91.
18. Трошин В.Д. Стресс и стрессогенные расстройства: диагностика, лечение, профилактика. М.: ООО «Медицинское информационное агентство»; 2007. 784.
19. Павлов А.А. Ранняя диагностика и лечение неосложненной гипертонической болезни в поликлинике. *Мед. помощь*. 2000; 4: 11–14.
20. Лебедева Н.Н., Мальцев В.Ю., Почигаева К.И., Гехт А.Б. Нейрофизиологические особенности когнитивной деятельности у пациентов с тревожно-депрессивными и ипохондрическими расстройствами. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019; 119 (3): 43–49.

ANALYSIS OF NEUROLOGICAL PATHOLOGY IN AN OUTPATIENT TREATMENT PROGRAM

O.A. Morozova¹, D.A. Sharov¹, N.N. Sharova²,
V.V. Morskova¹, A.V. Karpova¹, Yu.N. Mikhel'kova¹

¹Institute for Advanced Medical Studies, Ministry of Healthcare of Chuvash Republic, Cheboksary, Russia;

²Central City Hospital, Ministry of Healthcare of Chuvash Republic, Cheboksary, Russia

e-mail: drmorozova@mail.ru

Scientific-based interpretation of anamnestic and objective data of patients who seek neurologist's advice in an outpatient hospital plays an important role in improving diagnostics, treatment and rehabilitation, as the main purpose of any outpatient department is early detection and prevention of diseases.

The aim of the paper is to identify differential and diagnostic characteristics of early neuropathological manifestations in patients, visiting neurologist at an outpatient department, since early diagnostics can improve neuro-rehabilitative and preventive measures.

Materials and Methods. The authors examined 128 patients who were visiting a neurologist at an outpatient department within a month's time. Two age-gender groups were identified (40 males, 88 females). The average age of the patients was 53.8±5.6 years. The authors gained the medical history of the patients (anamnesis) through interviews, questionnaires, neurological examinations, instrumental and laboratory tests, and analysis of the obtained results according to verified diagnoses of ICD-10.

Results. The authors identified social and age-gender groups, which numerically dominated in the structure of neurological outpatient examination (pensioners and disabled people, 50–69 years of age). They also established the relationship between clinical neuropathological manifestations, life and work characteristics and the sociocultural patients' profile. Harmful working conditions and working stress prevailed in the structure of general morbidity of the industrial workers. The most commonly diagnosed CNS pathologies were cerebrovascular diseases (including discirculatory encephalopathy), vestibular sickness, pain syndromes (including cephalgic syndrome), asthenic and anxiety syndromes, and vegetovascular disfunction.

Conclusion. Timely early (preclinical) neuropathological diagnostics and the development of individualized neuro-rehabilitative and preventive programs at the outpatient level can provide an opportunity to increase the effectiveness of the periodic health examination aimed at ill-health prevention and CNS disease progression, leading to high economic costs.

Keywords: outpatient hospital, analysis of the neurological morbidity structure, cerebrovascular pathology, risk factors, stress.

References

1. Bogdanova T.G., Anan'eva S.I., Gerasimova L.I. Osobennosti zaboлеваemosti naseleniya Chuvashskoy Respubliki v 2013 g [Morbidity in the Chuvash Republic in 2013]. *Zdravookhranenie Chuvashii*. 2014; 2: 15–21 (in Russian).
2. Boytsov S.A., Chuchalin A.G. *Profilaktika khronicheskikh neinfektsionnykh zabolevaniy: rekomendatsii* [Prevention of chronic noncontagious disease: recommendations]. Moscow: MZ RF; 2013. 128 (in Russian).
3. Kadyrov F.N. *Ekonomicheskie metody otsenki effektivnosti deyatel'nosti meditsinskikh uchrezhdeniy* [Economic methods for assessing medical institution efficacy]. 2-e izd. Moscow: ID «Menedzher zdravookhraneniya»; 2011. 469 (in Russian).
4. Medik V.A., Yur'ev V.K. *Obshchestvennoe zdorov'e i zdravookhranenie* [Public health and healthcare]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. 288 (in Russian).
5. Kucherenko V.Z., ed. *Organizatsiya i otsenka kachestva lechenno-profilakticheskoy pomoshchi nasele-niyu: ucheb. posobie* [Organization and quality assessment of medical and preventive care: textbook]. Moscow: GEOTAR-Media; 2008. 559 (in Russian).
6. Gorobchuk V.G., Bun' H.A., Yakhno G.G., Loginov A.N. *Sotsiologicheskoe issledovanie kachestva meditsinskogo obsluzhivaniya* [A case study of the medical care quality]. *Sovetskoe zdravookhranenie*. 1990; 8: 19–23 (in Russian).
7. Gata A.S. *Puti dostizheniya stabilizatsii sostoyaniya zdorov'ya naseleniya Rossii* [Ways of improving health status among the Russian citizens]. *Zdravookhranenie*. 2001; 1: 12–16 (in Russian).

8. Doyutova M.V. Organizatsionno-metodicheskie podkhody k sovershenstvovaniyu okazaniya ambulatorno-poliklinicheskoy pomoshchi [Organizational and methodological approaches to outpatient care improvement]. *Meditinskiy al'manakh*. 2012; 1: 17–20 (in Russian).
9. Skoromets A.A., Skoromets A.P., Skoromets T.A. *Praktikum k zanyatiyam v klinike nevrologii: ucheb. posobie* [Workshop for classes in a neurology clinic: textbook]. Moscow: MEDpress-inform; 2011. 288 (in Russian).
10. Parshina Yu.V., Kononova I.V. Osobennosti sotsial'nogo statusa, obraza i kachestva zhizni lits pozhilogo i starchyego vozrasta [Characteristics of social status, lifestyle and quality of life of elderly people]. *Aktual'nye voprosy organizatsii zdravookhraneniya i obshchestvennogo zdorov'ya: materialy mezhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 21 marta 2014 [Topical issues of healthcare and public health organization: Proceedings of the Multiregional research and practice conference. March 21st, 2014]. Orenburg; 2014: 123–127 (in Russian).
11. Troshin V.D. *Nervnye bolezni: uchebnik* [Nervous diseases: Textbook]. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: OOO «Meditinskoe informatsionnoe agentstvo»; 2013. 448 (in Russian).
12. Yakhno N.N. Kognitivnye rasstroystva v nevrologicheskoy klinike [Cognitive disorders in a neurological department]. *Nevrologicheskiy zhurnal*. 2006; 11 (1): 4–12.
13. Nelson A.P., O'Connor M.G. Mild cognitive impairment: a neuropsychological perspective. *CNS Spectr*. 2008; 13 (1): 56–64.
14. Gerasimchuk M.Yu. Prognosticheskaya znachimost' otsenki biologicheskikh ritmov pri depressii [Prognostic significance of biological rhythm assessment in depression]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2018; 118 (9): 17–21 (in Russian).
15. Varlamova N.G., Zenchenko T.A., Boyko E.R. Godovaya dinamika arterial'nogo davleniya i meteorochuvstvitel'nost' u zhenshchin [Annual dynamics of blood pressure and meteorosensitivity in women]. *Ter. arkh*. 2017; 89 (12): 56–63 (in Russian).
16. Tanashyan M.M., Barkhatov D.Yu., Rodionova Yu.V., Konovalov R.N. Novye podkhody k korrektsii kognitivnykh narusheniy u bol'nykh s khronicheskimi tserebrovaskulyarnymi zabolevaniyami [New approaches to cognitive impairment correction in patients with chronic cerebrovascular diseases]. *Neotlozhnye sostoyaniya v nevrologii: trudy natsional'nogo kongressa*. 2–3 dekabrya 2009 [Emergencies in Neurology: Proceedings of the National Congress. December 3, 2009]. Moscow; 2009: 168–171 (in Russian).
17. Nikol'skaya I.N., Guseva I.A., Bliznevskaya E.V. Rol' trevozhnykh rasstroystv pri gipertonicheskoy bolezni i vozmozhnosti ikh korrektsii [Role of anxiety disorders in hypertension and their correction]. *Lechashchiy vrach*. 2007; 3: 89–91 (in Russian).
18. Troshin V.D. *Stress i stressogennyye rasstroystva: diagnostika, lechenie, profilaktika* [Stress and stress disorders: Diagnosis, treatment, prevention]. Moscow: OOO «Meditinskoe informatsionnoe agentstvo»; 2007. 784 (in Russian).
19. Pavlov A.A. Rannyyaya diagnostika i lechenie neoslozhnennoy gipertonicheskoy bolezni v poliklinike [Early diagnosis and treatment of uncomplicated hypertension in the outpatient hospital]. *Med. pomoshch'*. 2000; 4: 11–14 (in Russian).
20. Lebedeva N.N., Maltsev V.Yu., Pochigaev K.I., Geht A.B. Neurophysiological features of cognitive activity in patients with anxiety-depressive and hypochondriacal disorders [Neurophysiological features of cognitive activity in patients with anxiety-depressive and hypochondriacal disorders]. *Journal of Neurology and Psychiatry im. S.S. Korsakova*. 2019; 119 (3): 43–49 (in Russian).

УДК 617-089.844

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-22-27

ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ БОЛЬШОЙ ПОДКОЖНОЙ ВЕНЫ ПРИ ТРАВМАТОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ ПО ПОВОДУ ЗАКРЫТЫХ ПЕРЕЛОМОВ ЛОДЫЖЕК И НИЖНЕЙ/СРЕДНЕЙ ТРЕТИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ НА РАЗВИТИЕ ВЕНОЗНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Е.П. Кукушкин¹, В.И. Мидленко², О.В. Мидленко², Н.И. Белоногов²

¹ГБУЗ «Клиническая больница № 6 им. Г.А. Захарьина», г. Пенза, Россия;

²ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия

e-mail: kep131289@gmail.com

Цель исследования: оценить влияние интраоперационного повреждения большой подкожной вены при операциях по поводу травм лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости на частоту развития признаков венозной недостаточности в послеоперационном периоде.

Материалы и методы. Обследовано 213 пациентов, оперированных по поводу закрытых переломов лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости, у которых изначально отсутствовали признаки венозной недостаточности нижних конечностей. Пациенты с открытыми травмами в исследование не включались. Наблюдались 2 группы пациентов. У пациентов первой группы (103 чел.), сформированной по данным ретроспективного анализа, во время операции повреждалась большая подкожная вена. Во второй группе (110 чел.) данного повреждения удалось избежать, в т.ч. в результате использования авторских методик. В послеоперационном периоде проводилась сравнительная оценка жалоб пациентов и данных объективного исследования, характеризующих развитие признаков венозной недостаточности нижних конечностей.

Результаты. Начальные признаки венозной недостаточности нижних конечностей в послеоперационном периоде проявлялись у 33,25 % пациентов с интраоперационным повреждением большой подкожной вены. В случаях, когда повреждения большой подкожной вены во время операции удалось избежать, признаки венозной недостаточности нижних конечностей в послеоперационном периоде наблюдались у 8,41 % пациентов.

Выводы. При интраоперационном повреждении большой подкожной вены во время операций по поводу травм лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости венозная недостаточность нижней конечности развивается в 4 раза чаще, чем при отсутствии интраоперационного повреждения большой подкожной вены.

Ключевые слова: венозная недостаточность нижних конечностей, большая подкожная вена, перелом нижней/средней трети голени, травматолог.

Введение. При травматологических операциях на нижних конечностях, таких как открытый остеосинтез внутренней лодыжки, дистальное блокирование штифта в большеберцовой кости, остеосинтез дистальной части голени, проведение спиц на дистальном уровне при компоновке аппарата Г.А. Илизарова на голени, происходит повреждение большой подкожной вены (*v. saphenamagna*, БПВ) в месте, где она проходит около внутренней лодыжки, что впоследствии приводит к нарушению оттока крови по вене, а следовательно, к развитию венозной недостаточности [1–4].

В доступных нам современных источниках не удалось найти данных, характеризующих частоту развития венозной недостаточности при интраоперационных повреждениях БПВ. Кроме того, малоизученным на настоящий момент является патогенез венозной недостаточности нижних конечностей у пациентов, перенесших операции остеосинтеза при травмах лодыжек и нижней трети голени.

В клинической практике после перечисленных операций, сопровождавшихся ятрогенным повреждением БПВ, у пациентов длительное время сохраняется отечность го-

лени и стопы, даже при ранней активизации [5–7]. Таким образом, даже при положительных исходах операции зачастую нельзя говорить о хороших результатах лечения пациента из-за имеющихся признаков венозной недостаточности, ухудшающих качество жизни.

Цель исследования. Оценить влияние интраоперационного повреждения большой подкожной вены при операциях по поводу травм лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости на частоту развития признаков венозной недостаточности в послеоперационном периоде.

Материалы и методы. Обследовано 213 пациентов с повреждениями лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости, поступивших на лечение в отделение травматологии № 2 ГБУЗ КБ № 6 им. Г.А. Захарьина г. Пензы.

Все пациенты по данным ретроспективного анализа были разделены на 2 группы. Первую группу составили больные (103 чел.), перенесшие травматологическую операцию, во время которой была повреждена большая подкожная вена. Вторую группу – больные (110 чел.), также перенесшие травматологическую операцию, но у которых не было повреждения БПВ, в т.ч. в результате использования авторских методик.

Критериями отбора явились:

1. Закрытая травма (при открытых травмах происходило повреждение подкожных сосудов на разных уровнях в момент травмы и данные были не объективными).

2. Изначальное отсутствие признаков венозной недостаточности нижних конечностей (определялось на этапе предоперационной подготовки при выполнении УЗИ сосудов, и в дальнейшем пациенты с признаками недостаточности в исследовании не участвовали, хотя оперативное лечение получали в полном объеме) [8–10].

Все пациенты осматривались в течение нахождения в стационаре ежедневно, а также проходили контрольные осмотры через 8 нед., 6 мес., 1 год, после удаления металлоконструкций. Собирались жалобы, учитывался трудовой анамнез, выполнялось УЗИ, проводились измерения окружности голеностопного сустава, стопы, нижней трети голени [11–13].

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате Medison SonoAce x8.

При построении таблиц, диаграмм и анализе результатов использовались программы BioStat 2008, Microsoft Excel, Statistika.

Результаты. Структура и частота жалоб, предъявленных пациентами, представлены на рис. 1, 2.

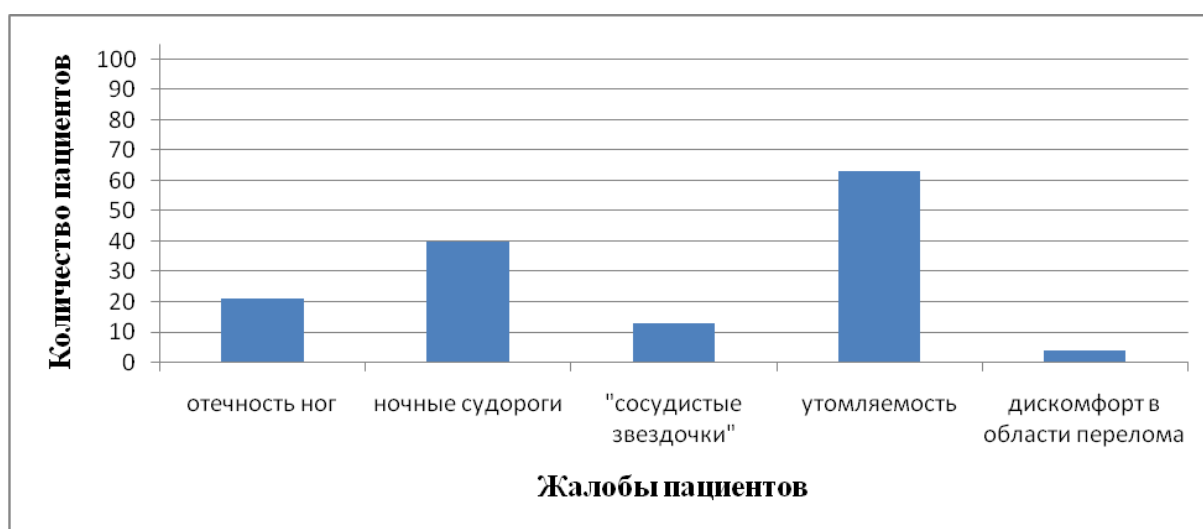


Рис. 1. Жалобы пациентов с интраоперационным повреждением БПВ

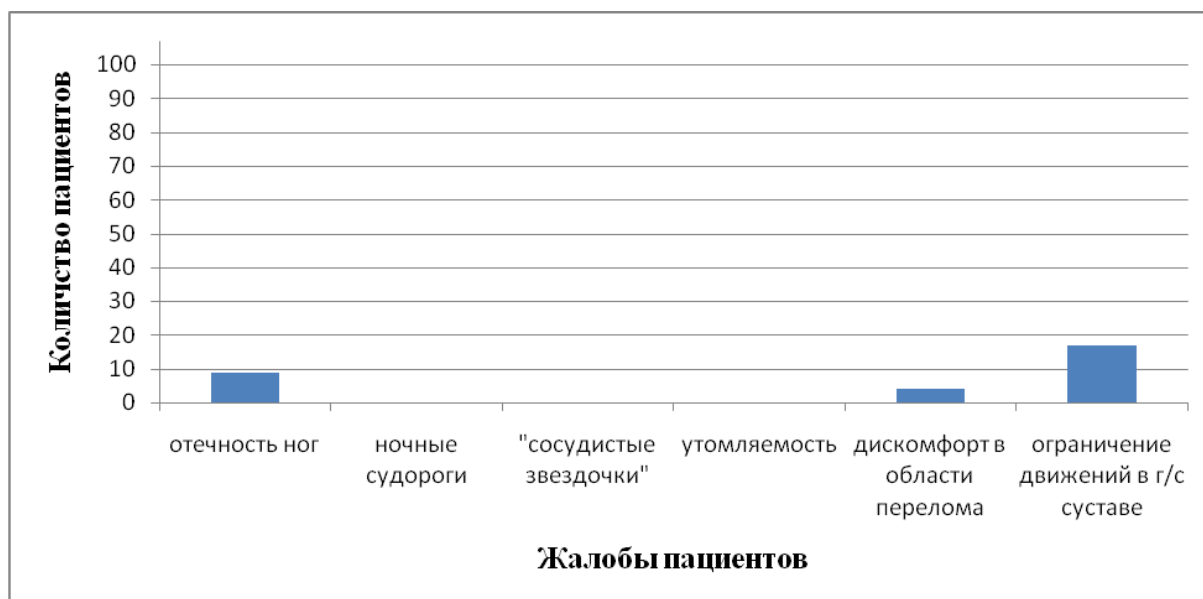


Рис. 2. Жалобы пациентов без интраоперационного повреждения БПВ

Ни один из пациентов, у которых не было повреждения БПВ, не предъявлял жалоб на быструю утомляемость, ночные судороги и появление сосудистых звездочек.

Оценка клинической картины у пациентов в зависимости от наличия или отсутствия интраоперационного повреждения БПВ представлена в табл. 1, 2.

Таблица 1

Оценка жалоб пациентов в зависимости от хода операции, %

Клиническая картина	С повреждением БПВ	Без повреждения БПВ
Сосудистые звездочки	12,6	-
Утомляемость	61,2	-
Ночные судороги	38,8	-
Отечность ног	20,4	8,41
Боль в области переломов	3,88	3,73
Ограничение движений	-	15,9

Таблица 2

Объективная оценка пациентов в зависимости от хода операции, %

Объективное обследование	С повреждением БПВ	Без повреждения БПВ
Сосудистые звездочки	11,7	-
Увеличение окружности	90,3	-
Боль в области переломов	5,8	2,8
Ограничение активных движений	-	-

Из приведенных данных следует, что специфические жалобы пациентами второй группы либо не предъявлялись, либо предъявлялись значительно реже. При объективной оценке было выявлено, что специфических признаков венозной недостаточности у пациентов без повреждения БПВ не наблюдалось.

Признаки венозной недостаточности нижних конечностей, такие как сосудистые звездочки, утомляемость, ночные судороги, отеки ног, у пациентов с повреждением БПВ появились в 12,6–61,8 % случаев. Для пациентов без повреждения БПВ были в основном характерны жалобы по поводу переломов; лишь у 8,41 % данных больных сохранялась отечность ног, что было связано с замедленной консолидацией переломов или с несоблюдением рекомендаций врача.

Локальная болезненность в области перелома у пациентов с повреждением БПВ и без такового выявлена в 5,8 и 2,8 % случаев соответственно.

По данным ультразвукового исследования, у пациентов с интраоперационным повреждением БПВ достоверно менялись диаметр большой и малой подкожной вен, толщина их стенки и скорость кровотока. Кроме того, ход вен становился более извитым. Тромбы в венах не определялись.

Все находившиеся под наблюдением пациенты получали в предоперационном периоде антикоагулянтную терапию: Sol. Heparini 5000 ЕД 4 раза в день под кожу в окологрудной области. После проведенных оперативных вмешательств пациенты активизи-

ровались на следующий день. При динамическом контроле данных коагулограммы изменения не выявлялись, все показатели находились в пределах нормы.

Обсуждение. При выполнении травматологических операций зачастую не обращается должное внимание на сосудистый компонент [14–16].

При этом, по данным нашего исследования, у 33,25 % пациентов, у которых во время операции по поводу травм нижней/средней трети голени была повреждена большая подкожная вена, наблюдаются признаки венозной недостаточности. В тех случаях, когда такого повреждения удастся избежать, частота развития признаков венозной недостаточности нижних конечностей сокращается до 8,41 %.

В связи с этим важно обратить внимание хирургов-травматологов на необходимость сохранения большой подкожной вены, чтобы при великолепном выполнении операции и получении полной консолидации перелома впоследствии не получить укор от пациента по поводу возникновения через промежуток времени, уже после сращения перелома, ощущения тяжести в ногах, длительно сохраняющегося отека, ночных судорог, усталости ног, появления визуально расширенных вен.

Заключение. При интраоперационном повреждении большой подкожной вены во время операций по поводу травм лодыжек и нижней/средней трети большеберцовой кости венозная недостаточность нижней конечности развивается в 4 раза чаще, чем при отсутствии данного повреждения.

Литература

1. Актуальные вопросы диагностики, лечения и реабилитации больных: материалы XV межрегиональной научно-практической конференции ГОУ ДПО «Пензенский институт усовершенствования врачей Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию. Пенза; 2011. 285.
2. Букун К. Клиническое исследование костей, суставов и мышц. Москва: Медицинская литература; 2012. 352.
3. Даудярис Й.П. Болезни вен и лимфатической системы конечностей. Москва: Медицина; 1984. 192.
4. Larsen D.W. Traumatic vascular injuries and their management. Neuroimaging Clin. North Am. 2002; 12: 249–269.
5. Конаган Ф., О'Коннор Ф., Изенберг Д. Лучевая диагностика заболеваний костно-мышечной системы. Москва: Издательство Панфилова: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2014. 464.

6. Бауэр Р., Динст М., Эберадт О., Пойзель З., Керибаумер Ф. Оперативные доступы в травматологии и ортопедии. Москва: Издательство Панфилова; 2015. 408.
7. Бриггс Т., Майлз Д., Астон У. Оперативная ортопедия. Стенморское руководство. Москва: Издательство Панфилова: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2014. 320.
8. Епифанов В.А., Епифанов А.В. Реабилитация в травматологии и ортопедии. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2015. 416.
9. Сиду П.С., Чонг В.К. Измерения при ультразвуковом исследовании. Москва: Медицинская литература; 2009. 352.
10. Зубарев А.Р., Неменова Н.А. Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата у взрослых и детей: пособие для врачей. Москва: Издательский дом «Видар-М»; 2006. 136.
11. Бланимезон Ф. Атлас анатомии поверхностных вен нижних конечностей: Бассейн малой подкожной вены. Вены стопы. Москва: Митра-Пресс; 2001. 48.
12. Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека. Т. III. Москва: Медицина; 1972. 399.
13. Кованов В.В., ред. Оперативная хирургия и топографическая анатомия. Москва: Медицина; 1978. 416.
14. Зубарев А.Р., Григорян Р.А. Ультразвуковое ангиосканирование. Москва: Медицина; 1990. 176.
15. Зубарев А.Р., Богачев В.Ю., Митьков В.В. Ультразвуковая диагностика заболеваний вен нижних конечностей. Москва: Видар; 1999. 104.
16. Storm R.K., Sing A.K., de Graaf E.J., Tettersoo G.W. Iatrogenic arterial trauma associated with hip fracture treatment. J. Trauma. 2000; 48 (5): 957–959.

INFLUENCE OF GREAT SAPHENOUS VEIN INJURY IN TRAUMATOLOGICAL OPERATIONS FOR CLOSED ANKLE AND LOWER/MIDDLE THIRD OF TIBIA FRACTURES ON VENOUS INSUFFICIENCY DEVELOPMENT

E.P. Kukushkin¹, V.I. Midlenko², O.V. Midlenko², N.I. Belonogov²

¹Clinical Hospital № 6 named after G.A. Zakhar'in, Penza, Russia;

²Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

e-mail: kep131289@gmail.com

The objective of the paper is to evaluate the effect of intraoperative damage to the saphenous vein during operations for injuries of the ankles and lower/middle third of the tibia on the incidence of venous insufficiency during postoperative period.

Materials and Methods. The authors examined 213 patients operated for closed fractures of the ankle and lower/middle third of the tibia. All the patients initially demonstrated no signs of venous lower extremity insufficiency. Patients with open injuries were not included in the study. The patients were divided into 2 groups. In patients of the first group (n=103), which was formed according to retrospective analysis, a large saphenous vein was damaged during the operation. In the second group (n=110), the vein was not damaged, as a result of proprietary techniques. In the postoperative period, the authors compared patient complaints and objective research data, characterizing the development of venous insufficiency of the lower extremities.

Results. During the postoperative period, the initial signs of lower extremity venous insufficiency were manifested in 33.25 % of patients with intraoperative damage to the large saphenous vein. In cases where damage to the saphenous vein during surgery was avoided, signs of lower extremity venous insufficiency in the postoperative period were observed in 8.41 % of patients.

Conclusion. With intraoperative damage to the large saphenous vein during operation for injuries to the ankle and lower / middle third of the tibia, venous insufficiency of the lower extremity develops 4 times more often than without intraoperative damage to the large saphenous vein.

Keywords: *venous insufficiency of the lower extremities, large saphenous vein, fracture of the lower /middle third of the lower leg, traumatologist.*

References

1. *Aktual'nye voprosy diagnostiki, lecheniya i reabilitatsii bol'nykh* [Topical issues of diagnosis, treatment and rehabilitation of patients]: materialy XV mezhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii GOU DPO «Penzskiy institut usovershenstvovaniya vrachey Federal'nogo agentstva po zdravookhraneniyu i sotsial'nomu razvitiyu [Proceedings of the 15th Interregional Scientific and Practical Conference of "Penza Institute for Advanced Medical Studies, Federal Agency for Health and Social Development]. Penza; 2011. 285 (in Russian).
2. Bukup K. *Klinicheskoe issledovanie kostey, sustavov i myshts* [Clinical examination of bones, joints and muscles]. Moscow: Meditsinskaya literatura; 2012. 352.
3. Daudyaris Y.P. *Bolezni ven i limfaticheskoy sistemy konechnostey* [Diseases of veins and lymphatic limb system]. Moscow: Meditsina; 1984. 192 (in Russian).
4. Larsen D.W. Traumatic vascular injuries and their management. *Neuroimaging Clin. North Am.* 2002; 12: 249–269.
5. Philip G. Conaghan, Philip O'Connor, David A. Isenberg. *Luchevaya diagnostika zabolevaniy kostno-myshechnoy sistemy* [Musculoskeletal imaging]. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2014. 464 (in Russian).
6. Bauer R., Dienst M., Eberhardt O., Poisel S., Kerschbaumer F. *Operativnye dostupy v travmatologii i ortopedii* [Surgical approach in traumatology and orthopedics]. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova; 2015. 408 (in Russian).
7. Briggs T., Miles J., Aston W. *Operativnaya ortopediya* [Operative Orthopaedics]: Stenmorskoe rukovodstvo [The Stanmore Guide]. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2014. 320 (in Russian).
8. Epifanov V.A., Epifanov A.V. *Reabilitatsiya v travmatologii i ortopedii* [Rehabilitation in traumatology and orthopedics]. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. 416 (in Russian).
9. Sidu P.S., Chong V.K. *Izmereniya pri ul'trazvukovom issledovanii* [Ultrasound measurements]. Moscow: Meditsinskaya literatura; 2009. 352 (in Russian).
10. Zubarev A.R., Nemenova N.A. *Ul'trazvukovoe issledovanie oporno-dvigatel'nogo apparata u vzroslykh i detey: posobie dlya vrachey* [Ultrasound examination of musculoskeletal system in adults and children: Physician's manual]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Vidar-M»; 2006. 136 (in Russian).
11. Blanshmezov F. *Atlas anatomii poverkhnostnykh ven nizhnikh konechnostey: Basseyn maloy podkozhnoy veny. Veny stopy* [Anatomical atlas of superficial veins of the lower extremities: Small saphenous vein system. Foot veins]. Moscow: Mitra-Press; 2001. 48 (in Russian).
12. Sinel'nikov R.D. *Atlas anatomii cheloveka* [Atlas of human anatomy]. Vol. III. Moscow: Meditsina; 1972. 399 (in Russian).
13. Kovanov V.V., ed. *Operativnaya khirurgiya i topograficheskaya anatomiya* [Operative surgery and topographic anatomy]. Moscow: Meditsina; 1978. 416 (in Russian).
14. Zubarev A.R., Grigoryan R.A. *Ul'trazvukovoe angioskanirovanie* [Ultrasound angioscanning]. Moscow: Meditsina; 1990. 176 (in Russian).
15. Zubarev A.R., Bogachev V.Yu., Mit'kov V.V. *Ul'trazvukovaya diagnostika zabolevaniy ven nizhnikh konechnostey* [Ultrasound diagnosis of the lower extremity vein disorders]. Moscow: Vidar; 1999. 104 (in Russian).
16. Storm R.K., Sing A.K., de Graaf E.J., Tetteroo G.W. Iatrogenic arterial trauma associated with hip fracture treatment. *J. Trauma.* 2000; 48 (5): 957–959.

УДК 617.586-002-089

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-28-33

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ФЛЕГМОНОЙ СТОПЫ

А.В. Эдилов, В.К. Татьянченко, В.Л. Богданов, Ю.В. Сухая

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Ростов-на-Дону, Россия

e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com

Цель работы – улучшение результатов хирургического лечения флегмоны стопы путем разработки способа диагностики и лечения компартмент-синдрома (КС).

Материалы и методы. В исследовании участвовали 64 пациента с флегмоной стопы недиабетической этиологии, разделенных на две группы. В I группе (контрольной, n=31) использовалась традиционная методика лечения, во II группе (основной, n=33) – разработанный алгоритм диагностики и лечения компартмент-синдрома (патент на изобретение № 2683855), а также методы ультразвуковой кавитации и озонотерапии.

Для оценки тяжести течения гнойно-воспалительного процесса в области стопы было предложено включить в диагностический алгоритм методику измерения тканевого давления. Полученные показатели послужили основанием для диагностики компартмент-синдрома и выполнения по показаниям декомпрессивной фасциотомии в области фасциальных структур стопы, обладающих высокими уровнем прочности и модулем упругости. Также оценивались степень репаративных процессов в послеоперационной ране и уровень ее микробной обсемененности по значению КОЕ.

Результаты. Установлено, что увеличение тканевого давления более чем на 25 мм рт. ст. у 87,9 % пациентов является показанием для выполнения декомпрессивной фасциотомии по оригинальной методике. Полученные результаты клинических, лабораторных и инструментальных методов исследования позволили выработать алгоритм оценки эффективности лечения.

Выводы. Отмеченные у 90,9 % пациентов хорошие результаты лечения дают возможность рекомендовать разработанный алгоритм для внедрения в клиническую практику.

Ключевые слова: флегмона, тканевое давление, хирургическое лечение, фасциотомия.

Введение. Лечение флегмон области стопы сопровождается высоким риском развития неблагоприятных функциональных осложнений, а именно наличием гипертрофических рубцов, болевых триггерных зон и миофасциальной дисфункции конечностей [1, 2]. По мнению большинства хирургов, эти последствия являются проявлением у больных с флегмоной стопы острого тканевого гипертензионного синдрома (ОТГС, или компартмент-синдрома (КС)), диагностика и лечение которого не проводится. При этом операция, выполненная на фоне высокой гипертензии мягких тканей, а следовательно, и неблагоприятных условий функционирования гемомикроциркуляторного русла, приводит к снижению интенсивности процессов регенерации раны [3, 4]. Поиск путей устранения тканевой гипертензии у больных с гнойной патологией

является одной из актуальных проблем медицины, и в частности хирургии [5].

В доступной литературе отсутствуют работы, в которых была бы описана техника мониторинга тканевого давления (ТД), а также декомпрессивной фасциотомии при флегмоне стопы недиабетической этиологии.

Цель исследования. Улучшение результатов хирургического лечения флегмоны стопы путем разработки способа диагностики и лечения компартмент-синдрома.

Материалы и методы. Работа выполнена в отделении гнойной хирургии МБУЗ ГБСМП г. Ростова-на-Дону. В период 2012 по 2018 г. под наблюдением находились 64 пациента с флегмоной стопы в возрасте от 18 до 65 лет. Из исследования были исключены больные с гнойно-некротическими осложнениями синдрома диабетической стопы.

Лиц мужского пола было 43 (67,2 %), женского пола – 21 (32,8 %) чел., их соотношение – 2:1. Все больные были разделены на две

группы – контрольную (n=31) и основную (n=33), сопоставимые по возрасту и нозологическим формам заболевания (табл. 1).

Таблица 1

Распределение больных по нозологическим формам заболевания, %

Заболевание	Группы больных	
	Контрольная (n=31)	Основная (n=33)
Флегмона тыльной и подошвенной области стопы	18,7	15,2
Флегмона тыльной области стопы	6,3	9,1
Флегмона подошвенной поверхности стопы	75,0	75,7

Таблица 2

Распределение больных в группах в зависимости от срока начала заболевания, n (%)

Срок от начала заболевания	Группы больных		Всего
	контрольная	основная	
Менее 3 сут	5 (15,6)	4 (12,1)	9 (13,8)
От 3 до 7 сут	23 (75,0)	27 (81,8)	50 (78,5)
Более 7 сут	3 (9,4)	2 (6,1)	5 (7,7)
Всего	31 (100)	33 (100)	64 (100)

У всех пациентов хирургическое лечение флегмоны стопы осуществляли по известным технологиям: вскрытие очага, дренирование, лечение гнойной раны путем промывания 3 % раствором перекиси водорода и 0,05 % раствором хлоргексидина, повязки с мазью «Левомеколь».

У больных основной группы перед операцией в течение 1–3 ч проводили мониторинг тканевого давления на предмет постановки диагноза КС по оригинальной методике [6].

Метод предусматривает синхронное измерение инвазивным способом тканевого давления в медиальной (P1) и латеральной (P2) пяточной области пораженной стопы, а также в медиальном (P3) и латеральном (P4) отделах здоровой стопы. Далее определяется разница давлений по формуле

$$R = \left(1 - \frac{P1+P2}{P3+P4} \right) \times 100 \%.$$

При значении R, равным 30 % и более, ставится диагноз ОТГС.

Показанием к выполнению декомпрессионной фасциотомии фасциальных структур стопы было увеличение ТД более чем на 25 мм рт. ст. (30 % от исходного уровня). При этом нормальным физиологическим значением ТД считается 8–10 мм рт. ст.

Фасциотомию выполняли в области латерального и медиального фасциальных лож стопы на уровне средней трети V и I плюсневых костей из вертикального разреза длиной 2,0 см. При наличии КС на первом этапе этим больным проводили декомпрессионную фасциотомию в области фасциально-мышечного футляра стопы, а затем вскрытие флегмоны. Кроме того, у больных основной группы в лечении гнойной раны использовали методы низкочастотной ультразвуковой кавитации и озонотерапии по известным технологиям.

Ежедневно оценивали степень выраженности интоксикационного синдрома (признаки синдрома системной воспалительной реакции) и локальную динамику течения воспалительного процесса.

Для измерения ТД стопы использовали инвазивный монитор Stryker REF 2951.

Начиная с первого дня после операции всем пациентам проводили эмпирическую антибиотикотерапию, а после получения результатов бактериологического исследования назначали антибиотики в соответствии с чувствительностью к ним. В качестве иммуномодулятора в комплексную терапию включали Циклоферон по 300 мг.

Проводили цитологическое исследование биоптатов на 1, 3, 5 и 7-е сут после операции. Во второй фазе раневого процесса у больных контрольной группы применяли повязки с 10 % метилурациловой мазью, а у больных основной группы – повязки с мазью на основе серебра «Атрауман АГ», обладающей бактерицидным свойством на фоне низкой цитотоксичности.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программ Statistica 6.0, Med Calc v 12.7.0.0, Microsoft Office Excel 2010 на основании параметрических и статистических методов. Различия в оцениваемых выборках определяли с использованием t-критерия Стьюдента с коэффициентом доверия $p < 0,05$.

Ближайшие результаты (степень заживления раны) оценивали до выписки больного из стационара.

Отдаленные результаты (6 мес. и 1 год) оценивали как хорошие, удовлетворительные и неудовлетворительные, сравнивая с показателями здоровой стопы. Удовлетворительными считали результаты, при которых объем движений в плюснефаланговых суставах стопы был снижен до 30 %; интенсивность миофасциального болевого синдрома (МФБС) по шкале FPS-R составляла не более $3,2 \pm 0,5$ балла; ширина послеоперационного рубца была не более 2,0 мм. К неудовлетворительным относили результаты, при которых объем движений в плюснефаланговых суставах стопы был снижен более чем на 30 %, присутствовал постоянный МФБС более чем $3,2 \pm 0,5$ балла, а также гипертрофический рубец, деформирующий стопу.

Результаты и обсуждение. Исходя из данных мониторинга ТД диагноз КС был поставлен 29 из 33 больным основной группы,

что составляло 87,9 %. Из этого числа больных декомпрессивная фасциотомия по показаниям была выполнена 26 больным (89,7 %). У 3 больных после консервативной терапии (диуретики, флеботропные препараты) выявлена тенденция к снижению ТД, которое через 10 ч после выполнения основного этапа операции по вскрытию флегмоны достигало 8–10 мм рт. ст. У 25 из 26 больных (96,1 %) ТД нормализовалось через 6–7 ч после выполнения декомпрессивной фасциотомии, у 1 больного – через 20 ч. Раневой процесс в области фасциотомического разреза у всех пациентов протекал без осложнений.

О положительном влиянии декомпрессивной фасциотомии свидетельствует и эффективность обезболивающей терапии. Так, у 28 из 33 больных основной группы необходимость в анальгетиках пропала к 3-му дню, а у 5 чел. – к 7-му. При этом в контрольной группе на 7-й день после операции анальгетики применяли 18 из 31 чел. (56,3 %), а на 10-й день – 10 (31,3 %). У больных этой группы диагностику и лечение ОТГС не проводили.

Об эффективности проведенной декомпрессивной фасциотомии можно косвенно судить по степени выраженности МФБС в послеоперационном периоде.

Динамика исследования МФБС по шкале FPS-R представлена на рис. 1.

Так, у больных основной группы выраженность МФБС при поступлении составляла $9,1 \pm 0,2$ балла, к 60-му дню наблюдалось его снижение на $3,8 \pm 0,3$ балла ($p < 0,05$).

Эффект лечения оценивали подробным сравнением типов цитогрaмм. У больных основной группы при цитологическом исследовании мазков-отпечатков из раны на 7-е сут после операции в 83,4 % случаев выявлен ее регенеративный тип, в 11,1 % – воспалительно-регенеративный и в 5,5 % – воспалительный; в контрольной группе – соответственно в 20,8, 62,5 и 16,7 % случаев. Полученные результаты указывают на более благоприятную динамику течения репаративных процессов в ране у больных основной группы ($p < 0,05$) (табл. 2).

Из представленного в табл. 2 материала следует, что очищение гнойной раны и появление грануляций у больных основной группы

происходили соответственно в 1,6 и 1,4 раза быстрее, а заживление раны первичным натяжением – на 3,2 сут раньше, чем в контрольной группе.

Оценка ранних послеоперационных осложнений приведена на рис. 2.

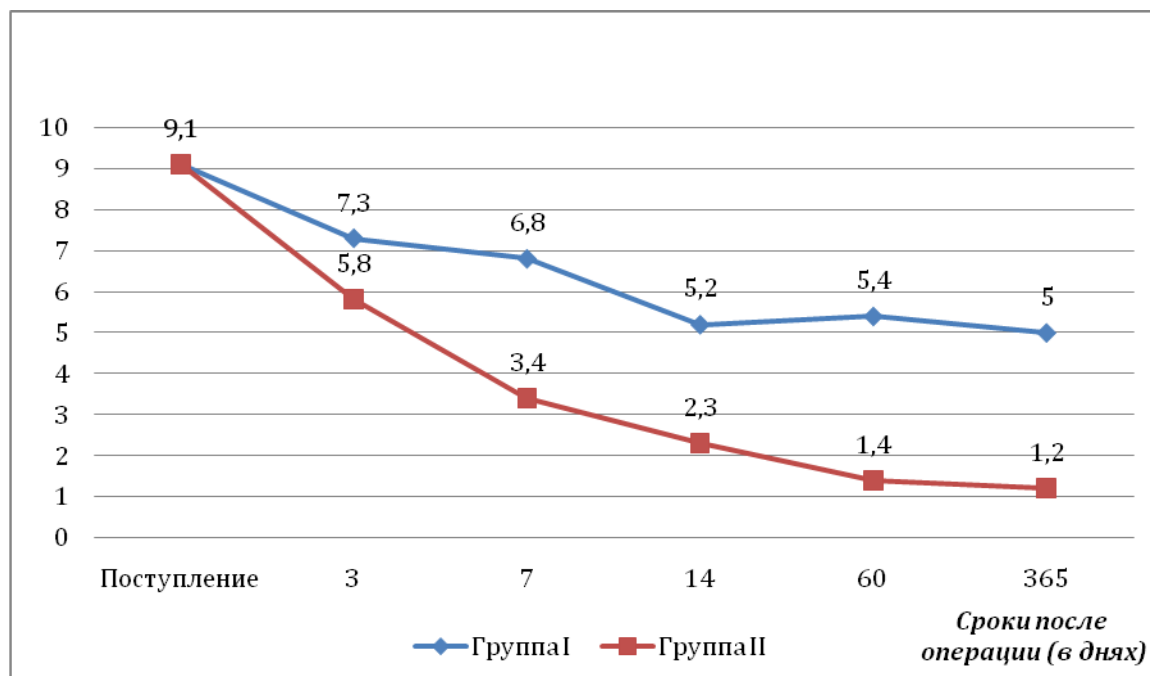


Рис. 1. Динамика показателей миофасциального болевого синдрома по шкале FPS-R

Таблица 2

Динамика течения раневого процесса в группах, сут

Группа	Очищение раны	Появление грануляций	Заживление
Контрольная	7,2±1,2	8,9±1,1	11,6±0,8
Основная	4,5±1,1	5,8±0,9	8,4±0,6

Примечание. При сравнении исследуемых групп $p < 0,05$.

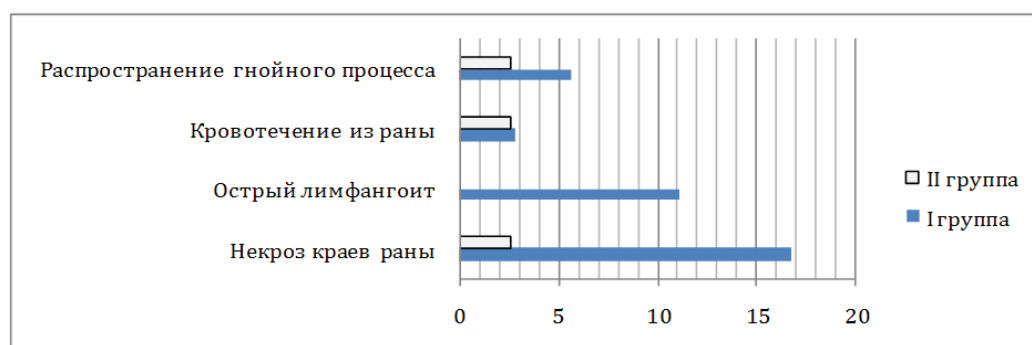


Рис. 2. Оценка послеоперационных осложнений

Дифференциальный подход к лечению больных позволил снизить число ранних осложнений в основной группе в 4,7 раза по сравнению с контрольной группой.

Разработанная нами тактика лечения больных с флегмоной стопы и компартмент-синдромом привела к уменьшению общих сроков лечения с $15,2 \pm 0,2$ (в контроле) до

$10,4 \pm 0,1$ дня (в основной группы), т.е. на $4,8 \pm 0,1$ дня.

Полученные у 94,7 % пациентов основной группы хорошие отдаленные результаты лечения флегмон стопы (рис. 3) делают предлагаемую нами тактику более перспективной по сравнению с известными способами.

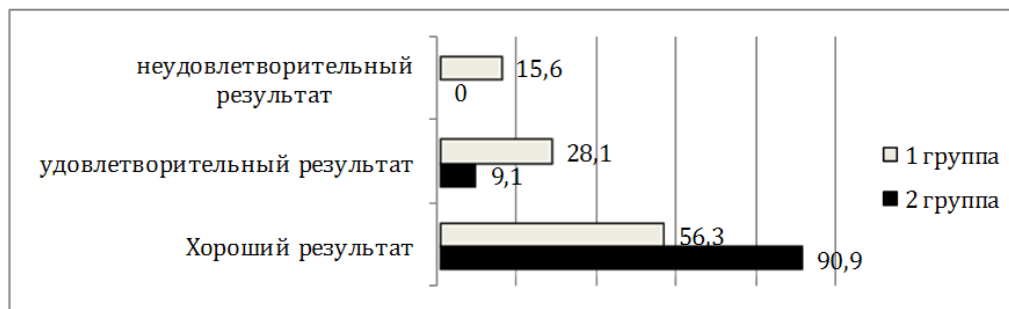


Рис. 3. Отдаленные результаты лечения

Заключение. Полученные результаты лечения больных с флегмоной стопы недиабетической этиологии показывают, что предложенный нами лечебно-диагностический алгоритм обладает высокой эффективностью. Способ заключается в определении степени выраженности тканевой гипертензии у больных с флегмоной стопы, констатации наличия компартмент-синдрома и проведении его ле-

чения, выполнении по показаниям декомпрессионной фасциотомии. Предложенный нами новый для гнойной хирургии алгоритм диагностики и лечения больных с флегмоной стопы, учитывающий показатель тканевого давления, позволил улучшить функциональные результаты комплексного лечения (сохранение функции стопы, отсутствие болевых триггерных зон и гипертрофических рубцов).

Литература

1. Липатов К.В., Комарова Е.А., Гурьянов Р.А. Диагностика и хирургическое лечение стрептококковой некротизирующей инфекции мягких тканей. Раны и раневые инфекции. Журнал им. профессора Б.М. Костюченко. 2015; (1): 6–12.
2. Привольнев В.В., Каракулина Е.В. Основные принципы местного лечения ран и раневой инфекции. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2011; (3): 214–222.
3. Винник Ю.С., Маркелова Н.М. Современные методы лечения гнойных ран. Сибирское медицинское обозрение. 2013; (1): 18–24.
4. Keudell A.G. Diagnosis and treatment of acute extremity compartment syndrome. The Lancet. 2015; 386 (10000): 1299–1310.
5. Radha A. Acute compartment syndrome secondary to rhabdomyolysis in a sickle cell train patient. The Lancet. 2014; 384 (9960): 2172.
6. Эдилов А.С., Татьяначенко В.К., Красенков Ю.В. Способ лечения острого тканевого гипертензионного синдрома при флегмоне стопы: патент на изобретение № 2683855; 2019.

INTENSIFICATION OF COMBINED THERAPY IN PATIENTS WITH FOOT PHLEGMON

A.V. Edilov, V.K. Tat'yanchenko, V.L. Bogdanov, Yu.V. Sukhaya

Rostov State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russia

e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com

The purpose of the work is to improve surgical treatment of foot phlegmon by developing a method for diagnosis and treatment of compartment syndrome (CS).

Materials and Methods. The study involved 64 patients with foot phlegmon of non-diabetic etiology. The patients were divided into two groups. Group I (control, n=31) suggested traditional treatment techniques. Group II (main, n=33) provided a new algorithm for the diagnosis and treatment of compartment syndrome (patent No. 2683855), along with ultrasonic cavitation and ozone therapy.

To assess the severity of the purulent-inflammatory process in the foot, the authors suggested to include a tissue pressure measurement technique in the diagnostic algorithm. The obtained indicators contributed to the diagnosis of the compartment syndrome and, thus, administration of decompressive fasciotomy in fascial foot structures with a high strength level and elastic modulus. The authors also evaluated the degree of reparative processes in the postoperative wound and the level of its microbial contamination (CFU calculation).

Results. It was estimated that the increase in tissue pressure by more than 25 mm Hg in 87.9 % of patients is an indication for a know-how decompressive fasciotomy. The obtained results of clinical, laboratory and instrumental research allowed the authors to develop an algorithm for treatment efficacy evaluation.

Conclusion. The positive treatment results observed in 90.9 % of patients make it possible to recommend the developed algorithm for implementation in clinical practice.

Keywords: phlegmon, tissue pressure, surgical treatment, fasciotomy.

References

1. Lipatov K.V., Komarova E.A., Gur'yanov R.A. Diagnostika i khirurgicheskoe lechenie streptokokkovoy nekrotiziruyushchey infektsii myagkikh tkaney [Diagnosis and surgical treatment of streptococcal necrotizing soft tissue infection]. *Rany i ranevye infektsii. Zhurnal im. prof. B.M. Kostyuchenko*. 2015; (1): 6–12 (in Russian).
2. Privol'nev V.V., Karakulina E.V. Osnovnye printsiipy mestnogo lecheniya ran i ranevoy infektsii [Basic principles of local treatment of wounds and wound infections]. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya*. 2011; (3): 214–222 (in Russian).
3. Vinnik Yu.S., Markelova N.M. Sovremennye metody lecheniya gnoynykh ran [Modern methods of purulent wound therapy]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie*. 2013; (1): 18–24 (in Russian).
4. Keudell A.G. Diagnosis and treatment of acute extremity compartment syndrome. *The Lancet*. 2015; 386 (10000): 1299–1310.
5. Radha A. Acute compartment syndrome secondary to rhabdomyolysis in a sickle cell train patient. *The Lancet*. 2014; 384 (9960): 2172.
6. Edilov A.S., Tat'yanchenko V.K., Krasenkov Yu.V. Sposob lecheniya ostrogo tkanevogo gipertenzionnogo sindroma pri flegmone stopy [Treatment of acute tissue hypertension syndrome in patients with foot phlegmon]: patent na izobretenie № 2683855 [patent № 2683855]; 2019 (in Russian).

УДК 617-089

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-34-37

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ДЕКОМПРЕССИИ КИШЕЧНИКА ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ПО ПОВОДУ РАСПРОСТРАНЕННОГО ПЕРИТОНИТА В ТОКСИЧЕСКОЙ СТАДИИ

В.И. Мидленко, Н.И. Белоногов, О.В. Мидленко, А.Л. Чарышкин

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия

e-mail: belniv@yandex.ru

Цель – сравнительная оценка способов декомпрессии кишечника при операциях по поводу распространенного перитонита в токсической стадии.

Материалы и методы. Наблюдали 162 пациента с распространенным перитонитом различной этиологии. С использованием общепринятых методик сравнивались результаты лечения при применении одного из трех способов декомпрессии кишечника: цекостомии, назоинтестинальной интубации и наложения цекостомы с интубацией тонкой кишки.

Результаты. Установлено, что при использовании интубации тонкого кишечника через цекостому, в сравнении с другими применявшимися нами способами, внутрибрюшное давление нормализовалось на второй день, а при использовании цекостомии или назоинтестинальной интубации – на 5-й и 7-й дни соответственно. Также на 2 сут раньше происходило снижение показателей интоксикации.

Выводы. Наиболее адекватную декомпрессию кишечника у пациентов с распространенным перитонитом в токсической стадии обеспечивает интубация тонкого кишечника через цекостому. Ранняя нормализация внутрибрюшного давления у пациентов с распространенным перитонитом в токсической стадии позволяет улучшить результаты лечения.

Ключевые слова: распространенный перитонит, декомпрессия кишечника.

Введение. Одним из тяжелейших осложнений заболеваний органов брюшной полости является распространенный перитонит. Смертность при этом осложнении по-прежнему высока и в среднем составляет от 15 до 30 %, некоторые формы перитонита имеют показатели летальности до 50 % [1–4]. Достаточно часто продолженный перитонит вынуждает хирурга прибегать к релапаротомии [5, 6]. При распространенном перитоните неизбежно развивается парез кишечника [7, 8], который в свою очередь способствует прогрессированию эндогенной интоксикации [9, 10]. Исходя из этого, большинство авторов в лечении распространенного перитонита рекомендуют использовать различные методы декомпрессии кишечника [11–13].

Цель исследования. Дать сравнительную оценку способам декомпрессии кишечника при операциях по поводу распространенного перитонита в токсической стадии.

Материалы и методы. Под нашим наблюдением находилось 162 пациента, госпитализированных в клинику в течение 5 лет с различными заболеваниями органов брюшной полости, осложненными распространенным перитонитом. У всех наблюдавшихся больных определялась токсическая стадия перитонита. Всем пациентам проводилось оперативное лечение, объем которого заключался в устранении причины перитонита, санации и дренировании брюшной полости. Кроме того, всем пациентам по общепринятым показаниям выполнялась декомпрессия кишечника по одной из трех методик: 1) наложение цекостомы, 2) интубация тонкой кишки назоинтестинальным способом, 3) наложение цекостомы с интубацией тонкой кишки. В соответствии с выбранным методом декомпрессии все пациенты были разделены на три группы. Группы были сопоставимы по полу и возрасту.

Оценку результатов лечения проводили на основании анализа динамики клинических и лабораторных показателей, таких как сроки восстановления перистальтики, степень эндогенной интоксикации, состояние свертывающей системы крови. Также у всех пациентов оценивалась динамика внутрибрюшного давления. Кроме того, учитывалось количество осложнений и релапаротомий по поводу продолженного перитонита.

Результаты и обсуждение. У всех наблюдавшихся пациентов было отмечено повышение внутрибрюшного давления выше 16 мм вод. ст. При этом удалось выявить прямую взаимосвязь значимого повышения внутрибрюшного давления с развитием гиперкоагуляции, выявляемой при оценке свертывающей системы крови (коэффициент корреляции составил 0,871).

Динамика снижения внутрибрюшного давления была более выраженной при интубации тонкого кишечника через цекостому. У пациентов этой группы нормализация давления происходила на 2-е сут после операции. У пациентов 1-й и 2-й групп внутрибрюшное давление нормализовалось в среднем на 5-й и 7-й дни соответственно. Статистически достоверных различий в сроках появления перистальтики кишечника нами не

выявлено. У всех пациентов она восстанавливалась в среднем к 5-м сут послеоперационного периода. Динамика снижения показателей эндогенной интоксикации была более выражена у пациентов 3-й группы. Статистически достоверное снижение у них отмечалось на 2 сут раньше, чем у пациентов, операция которых заканчивалась цекостомией без интубации кишечника либо назоинтестинальной интубацией. Установленный диагноз продолженного перитонита стал показанием к релапаротомии у 3 пациентов первой группы и 5 пациентов второй группы. Пациентам, вошедшим в третью группу, релапаротомия не потребовалась.

Статистически достоверных различий показателей послеоперационной летальности между исследуемыми группами пациентов нами не выявлено.

Выводы:

1. Наиболее адекватную декомпрессию кишечника у пациентов с распространенным перитонитом в токсической стадии обеспечивает интубация тонкого кишечника через цекостому.

2. Ранняя нормализация внутрибрюшного давления у пациентов с распространенным перитонитом в токсической стадии позволяет улучшить результаты лечения.

Литература

1. Бокарев М.И., Мамыкин А.И., Варданян А.В. Сравнительная оценка различных способов лечения абдоминальной инфекции, осложненной распространенным перитонитом. Хирургия. 2013; 8: 28–31.
2. Ларичев А.Б., Покровский Е.Ж., Дыленок А.А. Результаты лечения распространенного гнойного перитонита с декомпенсацией полиорганной дисфункции. Новости хирургии. 2013; 5: 50–57.
3. Маховский В.З., Алексеенко В.А., Лайпанов И.П., Яхья Т.М. Экстренные сочетанные операции в хирургии органов брюшной полости и малого таза. Хирургия. 2012; 9: 48–54.
4. Савельев В.С., Гельфанд Б.Р., Филимонов М.И. Перитонит. СПб.; 2006. 206.
5. Маскин С.С., Гольбрайх В.А., Дербенцева Т.В. Программные и экстренные релапаротомии в лечении распространенного перитонита. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2012; 4 (44): 105–107.
6. Суковатых Б.С., Блинков Ю.Ю., Букреева А.Е. Лечение распространенного гнойного перитонита. Хирургия. 2012; 9: 42–47.
7. Шуркалин Б.К., Горский В.А., Воленко А.В. Назоинтестинальная интубация в лечении больных распространенным перитонитом. Сборник статей XII съезда хирургов России. Ростов н/Д.; 2015: 174.
8. Андреев С.С. Повышение надежности швов тонкой кишки в условиях перитонита: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.; 2016.
9. Хендерсон М. Джозеф. Патология органов пищеварения. М.: Бином; 2010: 12.

10. Юркин Е.М., Куликов Л.К., Привалов Ю.А., Миронов В.И. Моторно-эвакуаторные нарушения у больных с назоинтестинальной интубацией при распространенном гнойном перитоните. Сибирский медицинский журнал. 2009; 9: 171–173.
11. Дедерер Ю.М. Кишечная интубация через гастростому с целью устранения послеоперационной паралитической непроходимости кишечника. Клиническая хирургия. 1962; 7: 41–45.
12. Житнюк И.Д. Метод дренирования тонкой кишки. Вестник хирургии. 1965; 12: 36–37.
13. Torer N., Nursal T.Z., Tufan H. Effect of manual bowel decompression (milking) in the obstructed small bowel. Am. J. Surg. 2008; 195 (6): 807–813.

COMPARATIVE EVALUATION OF GUT DECOMPRESSION METHODS IN OPERATIONS ON TOXIC WIDESPREAD PERITONITIS

V.I. Midlenko, N.I. Belonogov, O.V. Midlenko, A.L. Charyshkin

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

e-mail: belniv@yandex.ru

The aim of the paper is to conduct a comparative assessment of bowel decompression methods in operations on toxic widespread peritonitis.

Materials and Methods. The authors examined 162 patients with widespread peritonitis of various etiologies. Using generally accepted methods, they compared treatment results using one of the three methods of intestinal decompression: cecostomy, nasointestinal intubation, and cecostomy with intubation of the small intestine.

Results. It was detected that in case of small intestine intubation through the cecostomy (in comparison with other methods), intra-abdominal pressure returned to normal on the 2nd day, and in case of cecostomy or nasointestinal intubation – on the 5th and 7th day, respectively. Also, decrease in intoxication indicators was observed 2 days earlier than usual.

Conclusion. Intubation of the small intestine through the cecostoma provides the most adequate intestinal decompression in patients with advanced toxic peritonitis. Early normalization of intra-abdominal pressure in patients with advanced toxic peritonitis improves treatment outcomes.

Keywords: *widespread peritonitis, intestinal decompression.*

References

1. Bokarev M.I., Mamykin A.I., Vardanyan A.V. Sravnitel'naya otsenka razlichnykh sposobov lecheniya abdominal'noy infektsii, oslozhnennoy rasprostranennym peritonitom [Comparative evaluation of various methods for treating abdominal infection complicated by widespread peritonitis]. *Khirurgiya*. 2013; 8: 28–31 (in Russian).
2. Larichev A.B., Pokrovskiy E.Zh., Dylenok A.A. Rezul'taty lecheniya rasprostranennogo gnoynogo peritonita s dekompensatsiey poliorgannoy disfunktsii [Treatment results of common purulent peritonitis with decompensation of multiple organ dysfunction]. *Novosti khirurgii*. 2013; 5: 50–57 (in Russian).
3. Makhovskiy V.Z., Alekseenko V.A., Laypanov I.P., Yakh'ya T.M. Ekstrennye sochetannye operatsii v khirurgii organov bryushnoy polosti i malogo taza [Emergency complex operations in surgery of abdominal cavity and small pelvis]. *Khirurgiya*. 2012; 9: 48–54 (in Russian).
4. Savel'ev B.C., Gel'fand B.R., Filimonov M.I. *Peritonit* [Peritonitis]. St. Petersburg; 2006. 206 (in Russian).
5. Maskin S.S., Gol'braykh V.A., Derbentseva T.V. Programmnye i ekstrennye relaparatomii v lechenii rasprostranennogo peritonita [Program and emergency relaparatomy in treatment of common peritonitis]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2012; 4 (44): 105–107 (in Russian).
6. Sukovatykh B.S., Blinkov Yu.Yu., Bukreeva A.E. Lechenie rasprostranennogo gnoynogo peritonita [Treatment of widespread purulent peritonitis]. *Khirurgiya*. 2012; 9: 42–47 (in Russian).

7. Shurkalin B.K., Gorskiy B.A., Volenko A.V. Nazointestinal'naya intubatsiya v lechenii bol'nykh rasprostrannym peritonitom [Nazointestinal intubation in treating patients with advanced peritonitis]. *Sbornik statey XII s"ezda khirurgov Rossii* [Collected papers of the 12th Congress of Surgeons of Russia]. Rostov n/D.; 2015: 174 (in Russian).
8. Andreev S.S. *Povyshenie nadezhnosti shvov tonkoy kishki v usloviyakh peritonita* [Improving the reliability of small intestine sutures under peritonitis]: avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Moscow; 2016 (in Russian).
9. Henderson M. Joseph. *Patofiziologiya organov pishchevareniya* [Pathophysiology of the digestive system]. Moscow: Binom; 2010: 12.
10. Yurkin E.M., Kulikov L.K., Privalov Yu.A., Mironov B.I. Motorno-evakuatornye narusheniya u bol'nykh s nazointestinal'noy intubatsiey pri rasprostrannom gnoynom peritonite [Motor and evacuation disorders in patients with nasointestinal intubation and widespread purulent peritonitis]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*. 2009; 9: 171–173 (in Russian).
11. Dederer Yu.M. Kischechnaya intubatsiya cherez gastrostomu s tsel'yu ustraneniya posleoperatsionnoy paraliticheskoy neprokhodimosti kischechnika [Intestinal intubation through gastrostomy as a means to eliminate postoperative paralytic bowel obstruction]. *Klinicheskaya khirurgiya*. 1962; 7: 41–45 (in Russian).
12. Zhitnyuk I.D. Metod drenirovaniya tonkoy kishki [Method for small intestine drainage]. *Vestnik khirurgii*. 1965; 12: 36–37 (in Russian).
13. Torer N., Nursal T.Z., Tufan H. Effect of manual bowel decompression (milking) in the obstructed small bowel. *Am. J. Surg.* 2008; 195 (6): 807–813.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.821.8:612.833.8

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-38-51

ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНЫЕ РЕАКЦИИ КАК ИНДИКАТОР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.П. Игнатова, И.И. Макарова, К.Н. Яковлева, А.В. Аксенова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Тверь, Россия

e-mail: physiologistgma@mail.ru

Функциональное состояние человека является прогностическим показателем оценки его работоспособности и определяется степенью активации всех систем организма, задействованных в исследуемом виде деятельности, успешность которой во многом зависит от резервных возможностей центральной нервной системы. Афферентная информация запускает определенные двигательные программы и активирует отделы центральной нервной системы, которые ответственны за контроль над этими программами и их корректировку. Координация сенсорных и моторных компонентов двигательного акта является важнейшим условием функционирования сенсорной системы. Наиболее простым и доступным методом, отражающим динамику скорости нервных процессов, их переключение, уровень зрительно-моторной координации, общий уровень работоспособности и активности центральной нервной системы, является оценка характеристик зрительно-моторных реакций. Методика определения параметров зрительно-моторных реакций различного уровня сложности характеризует возбудимость коркового отдела зрительно-анализатора, скорость проведения возбуждения по рефлекторной дуге до эффектора включительно и сократительную функцию. Время от начала подачи сигнала до ответной реакции организма затрачивается на проведение и обработку информации в высших отделах мозга и поэтому служит показателем функционального состояния центральной нервной системы.

Цель настоящей статьи – осветить распространенность использования метода оценки параметров зрительно-моторных реакций как интегральных показателей функционального состояния центральной нервной системы.

Анализ исследовательских работ показал, что показатели зрительно-моторных реакций характеризуют состояние нервных процессов организма и его индивидуально-типологические особенности и рассматриваются как интегральные показатели функционального состояния центральной нервной системы. Оценка зрительно-моторных реакций является достаточно простым и точным нейрофизиологическим индикатором нейродинамических свойств нервной системы, общего уровня работоспособности и активности центральной нервной системы, что обуславливает распространность его использования в области исследования психомоторных функций человека.

Ключевые слова: простые и сложные зрительно-моторные реакции, функциональное состояние центральной нервной системы.

Функциональное состояние (ФС) человека является прогностическим показателем оценки его работоспособности и определяется степенью активации всех систем организма, задействованных в исследуемом виде деятельности. Вопросы прогноза, контроля и коррекции ФС человека имеют большое практическое и теоретическое значение [1].

Афферентная информация запускает определенные двигательные программы и активирует отделы центральной нервной системы (ЦНС), которые ответственны за контроль над этими программами. Координация сенсорных и моторных компонентов двигательного акта является важнейшим условием функционирования сенсорной системы [2].

Наиболее простым и доступным методом, отражающим динамику скорости нервных процессов, их переключение, уровень зрительно-моторной координации, общий уровень работоспособности и активности ЦНС, является оценка характеристик зрительно-моторных реакций (ЗМР) [3].

ЗМР может быть простой и сложной [4, 5]. Простую ЗМР (ПЗМР) относят к макродвижениям, которые обеспечиваются пирамидно-стриальным уровнем организации движений [6]. Сложная ЗМР (СЗМР) включает в себя различение сигналов и выбор в соответствии с этим разных способов поведенческого реагирования. СЗМР принадлежит исключительно к кортикальному уровню моторных действий.

Параметры ПЗМР и СЗМР характеризуют нейродинамические процессы в ЦНС, а именно возбудимость коркового отдела зрительного анализатора, скорость проведения возбуждения по рефлекторной дуге до эффектора включительно. Время от начала подачи сигнала до ответной реакции организма затрачивается на проведение и обработку информации в высших отделах мозга и поэтому служит показателем ФС ЦНС [2].

Цель настоящей статьи – осветить распространенность использования метода оценки параметров ЗМР как интегральных показателей ФС ЦНС.

Оценка ФС ЦНС, в частности анализ параметров ЗМР, позволяет спрогнозировать вероятность возникновения негативных психофизиологических состояний, являющихся результатом воздействия на субъект факторов его профессиональной деятельности и влияющих на его работоспособность и производительность труда [7–10].

В процессе трудовой деятельности, особенно при умственной нагрузке, в организме человека происходят изменения состояния его психических функций. Высокая напряженность умственного труда негативно влияет на высшую нервную деятельность: ухудшаются внимание, память, восприятие, что снижает профессиональную работоспособность. У диспетчеров автопарков установлено снижение скорости и увеличение времени как ПЗМР, так и СЗМР к концу рабочего дня

в среднем на 30 % [11]. По мнению авторов, трудовой процесс данной категории работников приводит к физиологическим изменениям в ЦНС: преобладанию процессов торможения и развитию утомления.

Оценка параметров ПЗМР и СЗМР позволила определить динамику развития утомления в течение рабочего дня и рабочей недели сотрудников аккредитованного испытательного лабораторного центра [12]. Авторами обнаружена сильная положительная значимая связь скорости ПЗМР, СЗМР и интегрального показателя профессионального выгорания и был предложен комплекс профилактических мероприятий.

Психофизиологические методы приобретают актуальность в изучении природы психофизиологических рисков. Повышение требований к профессиональным качествам специалистов зачастую приводит к изменениям ФС организма, а соответственно, к снижению работоспособности. Так, оценка ФС ЦНС социальных работников была проведена по методике, основанной на анализе латентных периодов ПЗМР, отражающей вероятностно-статистический принцип работы мозга [7]. По мнению авторов, психофизиологическая методика – важнейший инструмент динамического контроля и последующей коррекции уровня работоспособности специалистов социальной службы на разных этапах их профессиональной деятельности.

Латентный период ПЗМР как объективный тест ФС ЦНС использовался в комплексной оценке психофизиологического статуса и адаптивных возможностей организма студентов с различным уровнем двигательной активности [13]. Улучшение показателей когнитивной работоспособности, в т.ч. и уменьшение латентного периода ПЗМР, сопровождалось ростом напряжения регуляторных систем организма, более выраженным у лиц с низкой физической активностью. Авторы сделали заключение, что физическая активность снижает «цену адаптации» организма к изменяющимся условиям среды обитания.

Оценка психофизиологического состояния бакалавров по методике СЗМР показала у большинства обследуемых сочетание быстрой реакции и безошибочности действий, что

свидетельствует о наличии у них состояния достаточного рабочего напряжения [14]. Студентам же с неудовлетворительным ФС по методике СЗМР рекомендованы мероприятия по его оптимизации.

С аналогичной целью оценить возможности нервной системы, определяющие в значительной степени приспособительное поведение, в работе И.В. Ярославцевой и соавт. был использован метод СЗМР как экспресс-диагностика ФС ЦНС [15]. Одной из основных задач психофизиологического мониторинга в вузе является своевременное выявление студентов со сниженными функциональными возможностями ЦНС с целью проведения профилактической коррекционной работы.

Анализ параметров ЗМР различного уровня сложности был использован для определения степени влияния зимних каникул на общее состояние ЦНС [16]. Установлено, что после зимнего отдыха скорость обеих ЗМР выросла, особенно по методике СЗМР. Существенное уменьшение времени выполнения СЗМР на фоне улучшения ее точности в силу более сложной ее нейрональной организации свидетельствует о высокой эффективности зимних каникул в отношении сенсомоторных реакций студентов.

Тест СЗМР был использован для выявления взаимосвязи жизнестойкости курсантов в тренировочных условиях с уровнем активации ЦНС, что обусловлено потребностью повышения эффективности профессиональной деятельности в чрезвычайных ситуациях [17]. Обнаружена положительная связь компонентов жизнестойкости с параметрами СЗМР. Высокий уровень стабильности реакций характеризует устойчивый уровень активности, сохранение высокой работоспособности на протяжении длительного времени в экстремальных условиях.

Время сенсомоторных реакций – это высоко валидный тест, позволяющий детально исследовать ФС ЦНС в динамике [18].

Оценка параметров ПЗМР позволяет не только характеризовать ФС ЦНС и работоспособность, но и определять функциональную межполушарную асимметрию (ФМА) мозга [19]. ФМА является важнейшим фактором, который оказывает влияние на степень

адаптации человека к воздействиям внешней среды, в т.ч. к сложным условиям профессиональной деятельности. Известны работы [20], в которых была сделана попытка выявить, взаимодействуют ли между собой центры полушарий при выполнении простой задачи. Как показали данные исследования, время ПЗМР значительно увеличивалось при монокулярном предъявлении стимула, что объясняется получением информации от симметричных зон другого полушария и, соответственно, тратой дополнительного времени. Автор полагает, что выполнение простой реакции обусловлено взаимодействием обоих полушарий. Причем отношения между сенсорными центрами определяются ситуативно, в процессе деятельности, и являются динамичными.

Способность адаптироваться к умственной и физической деятельности определяется работоспособностью и подвижностью нервных процессов, ФМА головного мозга. В исследовании С.С. Матвеева и соавт. оценка ФС ЦНС осуществлялась методикой ПЗМР, в основе которой лежит определение уровня и стабильности сенсорных реакций человека на световые раздражители [21]. При этом латентный период реакции зависит от согласованности, синхронности временных и пространственных параметров ЦНС. Характеристики ПЗМР достаточно полно отражают силовые отношения в коре полушарий большого мозга. Анализ статистических параметров латентного периода ПЗМР у студентов с разным профилем ФМА мозга обнаружил, что для большинства правшей характерна подвижность нервных процессов, уменьшение латентного периода ПЗМР. Полученные результаты говорят о повышении возбудимости нейрональных сетей в ЦНС, что создает предпосылки для роста скорости переработки информации и эргичности когнитивных процессов. Среди левшей отмечено большее число студентов с инертностью нервных процессов, легкой степенью утомления, требующей повышенной концентрации внимания при выполнении учебной деятельности. В случае неопределенной латерализации необходимость выбора из двух возможных стратегий требует некоторого времени и уд-

линяет период выполнения задания. У большей части амбидекстров преобладают процессы торможения, низкий уровень напряжения регуляторных механизмов, что указывает на снижение функциональных возможностей их организма [21]. Таким образом, сенсомоторные реакции являются информативным и чувствительным индикатором в диагностике ФС ЦНС.

Изучение особенностей психомоторики айкидоистов с различным сочетанием ФМА мозга выявило [22], что спортсмены-левши при ПЗМР быстрее проявляют моторную реакцию, т.е. имеют двигательные преимущества перед правшами и амбидекстрами. Анализируя СЗМР, обнаружено, что правши показывают лучшее время реакции на сложный зрительный раздражитель, в связи с чем скорость переработки информации и характер восприятия у них выше, чем у левшей и амбидекстров. Скорость решения двигательных задач с усложнением зрительного стимула у амбидекстров была самая низкая, они тратили наибольшее время на опознание различных цветовых сигналов, хотя в тесте ПЗМР они были более успешны, чем правши. Авторы считают, что проблема проявляется в ситуации выбора, поэтому и происходит торможение реакции.

А.В. Гулин и соавт. выявленные ими особенности сенсомоторного реагирования девушек и юношей в обычных условиях и при психоэмоциональных нагрузках объясняют профилем ФМА, так как тип межполушарного взаимодействия обуславливает особенности протекания психофизиологических процессов [23].

А.С. Фролова и К.С. Кротенок анализировали показатели ПЗМР при разном типе вегетативной регуляции у студентов медицинской специальности [24]. Оказалось, что скорость ПЗМР у юношей с симпатикотонией и нормотонией выше, чем у девушек с такими же типами вегетативной регуляции. Показатель скорости уменьшается (время ПЗМР увеличивается) при низком ФС организма. Обнаруженные различия скорости ПЗМР еще раз подтверждают качественное своеобразие нейрофункциональной организации женского и мужского мозга.

На необходимость учета гендерных различий параметров сенсомоторных реакций в процессе профессиональной подготовки указывают и результаты исследования Л.И. Дерягиной и соавт. [25]. Обнаруженные различия особенностей СЗМР авторы связывают с более высоким уровнем активации ЦНС у курсантов мужского пола, отличиями в эмоциональной сфере у юношей и девушек по уровню тревожности.

Исследованием О.Н. Колосовой и соавт. показано наличие значимых различий скорости и устойчивости ЗМР по гендерным признакам [26]. Сила возбуждения, подвижность и скорость проведения возбуждения в ЦНС у женщин слабее, чем у мужчин. У женщин зрительная информация перерабатывается дольше, что может быть связано с наличием у них более высокого уровня психоэмоционального напряжения. Повышение эмоционального напряжения способствует чрезмерно высокой и длительной генерализации возбуждения в ЦНС, что может стать причиной развития тормозных процессов и снижения эффективности деятельности нервной системы, в т.ч. в когнитивной области.

Помимо учета гендерных особенностей ЗМР при оценке ФС необходимо учитывать и возрастной аспект.

С возрастом происходит постепенное снижение многих сенсорных и мнестических способностей, что находит отражение в уменьшении скорости обработки информации, снижении объема оперативной памяти, способности к обучению и запоминанию новой информации. И.Н. Дерябина и соавт., обследуя женщин в возрасте от 50 до 80 лет, обнаружили значимую положительную сильную связь между временем СЗМР и состоянием кратковременной памяти по тесту Бентона [27]. Полученные результаты, свидетельствующие о снижении способности человека с возрастом быстро и точно воспринимать информацию, связаны со снижением кратковременной памяти, которая является неотъемлемой частью психического компонента СЗМР.

Есть немало работ, в которых оценка ЗМР проводилась у детей. Высокие требования к уровню организации психических процессов предъявляются в процессе школьного

обучения. Объективным критерием текущего ФС ЦНС ученика, определяющим успешность его обучения, являются характеристики ЗМР различной степени сложности. Обнаружена тенденция к уменьшению времени ЗМР по мере взросления детей [28]. При этом школьники со средней силой нервных процессов тратили меньше времени при решении теста в сравнении с другими испытуемыми. Полученные результаты подтверждают возможность применения тестов на определение времени сенсомоторных реакций различной степени сложности как простого объективного метода оценки ФС обучающихся.

Аналогичные данные получены при измерении ПЗМР и СЗМР у школьников г. Екатеринбурга. О.Б. Гилева в своем исследовании подтвердила общую тенденцию к уменьшению времени реакции по мере взросления детей [29]. Кроме этого, выявлен ступенчатый характер времени реакции, что обусловлено гетерохронностью развития организма детей. По мнению автора, возрастная динамика времени реакции является хорошим маркером развития и совершенствования ЦНС, учет которого позволит добиться успешности в образовательном процессе.

У детей латентные периоды реакций значительно превышают значения, характерные для взрослого человека, что объясняется низким уровнем развития ЦНС, в частности низким уровнем миелинизации волокон и более длительным временем синаптических переключений [30].

Время ЗМР с разным уровнем сложности как один из объективных психофизиологических методов определения ФС ЦНС можно эффективно использовать для оценки уровня интеллекта у детей, механизмов развития дефицита внимания [31, 32]. Выявление специфики психофизиологической структуры интеллекта у старших дошкольников с разным уровнем психического развития дает возможность понять когнитивную стратегию их деятельности и индивидуальные особенности с целью раннего прогнозирования школьных трудностей в обучении и организации эффективных мер их коррекции [31].

Исследование характеристик ЗМР у школьников представляет собой простой и

информативный метод оценки физиологических процессов детского организма, особенно в младших классах, где велико число детей с высоким уровнем тревожности. В целом тревожность играет положительную роль в плане мобилизации сил для достижения конечной цели, однако постоянное повышение ее уровня может привести к негативным последствиям. Кроме того, оценка сенсомоторных реакций информативна и для более объективной диагностики самой тревожности [33]. Обнаружено, что дети с высоким уровнем тревожности в сравнении с контрольной группой показывали меньшую скорость как ПЗМР, так и СЗМР [33]. При этом они допускали большее количество ошибок, выполняя тест СЗМР. Полученные результаты свидетельствуют о дезорганизующем влиянии высокой тревожности на процессы когнитивной деятельности в целом, и в первую очередь на процессы внимания.

Низкие функциональные резервы ЦНС в условиях стресса по характеристикам ЗМР выявлены и в работе Э.В. Нелиной и соавт. у девушек 16–18 лет, находящихся в условиях пенитенциарной системы [34]. Это еще раз подтверждает, что данный тест позволяет получить оценку ФС ЦНС путем анализа времени реакций обследуемого на зрительный раздражитель.

Л.И. Губарева и О.В. Прасолова по СЗМР оценивали степень адаптации учащихся инновационных школ в разных экологических условиях [35]. Время ЗМР характеризует скорость протекания процессов возбуждения и торможения в ЦНС, способность к быстрой выработке дифференцировочного торможения и точность выполняемой работы. Использование данного теста наряду с другими методиками позволило заключить, что переход школ на более высокий образовательный уровень в условиях химического загрязнения приводит к увеличению времени СЗМР, количества ошибок на дифференцировку. Полученные данные свидетельствуют о снижении функциональной лабильности ЦНС, способности к быстрой выработке дифференцировочного торможения, что обуславливает снижение резервных возможностей ЦНС и, соответственно, степени адаптации к информационным нагрузкам.

Особенности психофизиологического состояния учащихся определяют и климатогеографические условия. О.Э. Кондаковой и соавт. при обследовании школьников, постоянно проживающих в условиях Крайнего Севера, установлено, что возрастные различия в показателях ЗМР соответствуют литературным данным, уровень активации ЦНС у подростков выше, чем у детей 10–12 лет [36]. При этом отмечены более высокие значения показателей времени СМР у школьников-северян в сравнении с учениками средних широт, что свидетельствует о преобладании процессов торможения и снижении подвижности нервных процессов у первых.

В работе Е.Н. Николаевой и соавт. показано влияние этнических особенностей на время ЗМР [37]. У большей части обучающихся отмечался низкий уровень ФС, что говорит о развитии утомления в ЦНС, снижении работоспособности и умственной деятельности. У подростков коренной этнической группы (якуты) обнаружена инертность нервных процессов, низкие концентрация и устойчивость внимания в сравнении с уроженцами-европеоидами. Анализ ФС ЦНС посредством оценки показателей ЗМР различного уровня сложности позволяет определить соответствие психофизиологических возможностей организма школьников к предъявляемой учебной нагрузке.

Данные исследований, свидетельствующие о снижении работоспособности и ФС ЦНС в условиях Севера, получены и другими исследователями [26, 38, 39]. Проживание в данной климато-географической зоне определяет особенности ФС организма, поскольку является дополнительной нагрузкой для растущего организма.

В ряде исследований показаны периоды замедленного или, наоборот, усиленного прироста значений показателей ЗМР у спортсменов различных видов спорта в зависимости от возраста обследуемых и длительности тренировок [1, 40, 41].

Тест ЗМР является актуальным, поскольку позволяет определять психологическую готовность спортсменов, которая, наряду с уровнем их физической и технической подготовки, учитывается для успешного прогнози-

рования спортивного результата [42, 43]. С.В. Матвиенко и соавт. на основе проведенного исследования рекомендуют в процессе психодиагностики анализировать среднеквадратическое отклонение ответных реакций. Данный показатель позволяет с высокой вероятностью прогнозировать успешность выступления спортсменов [42].

И.М. Абдуллаев и Л.И. Губарева по показателям ПЗМР и СЗМР не только оценивали функциональные возможности ЦНС, но и изучали особенности становления нервной системы у спортсменов-спринтеров разной квалификации [44]. Результаты исследования показали, что у более успешных спортсменов скорость двигательной реакции значимо выше, а, соответственно, время ЗМР меньше, чем у менее успешных спринтеров. Полученные данные позволяют сделать заключение о более высокой скорости достижения функциональной зрелости ЦНС у более успешных спортсменов-спринтеров. Возраст от 13 до 15 лет представляет собой критический период функциональных возможностей нервной системы по большинству показателей ЗМР. В этой возрастной группе авторы отмечали снижение возбудимости, функциональной лабильности и надежности функционирования ЦНС, что подтверждает высокую информативную значимость таких показателей, как время ПЗМР и СЗМР, число упреждений, количество ошибок на дифференцировку, уровень активации и интегральный показатель надежности ЦНС.

В то же время возраст 12–14 лет по медицинским заключениям рекомендуется для начала занятий спортивными единоборствами, несмотря на неустойчивый гормональный фон растущего организма и неустойчивость нервных процессов. Л.В. Соколова и С.А. Сунцов в своем исследовании подтвердили прогрессивные изменения ФС ЦНС по положительной динамике показателей ПЗМР и СЗМР спортсменов-единоборцев от 12 к 14 годам [45]. Полученные ими результаты свидетельствуют о росте скорости обработки информации, показателей концентрации, устойчивости и распределения внимания, т.е. об усилении системы управляющих функций у детей, занимающихся единоборствами.

Положительная роль спортивных занятий, особенно в период полового созревания, показана и в работе А.М. Менджерицкого и соавт. [46]. Результаты анализа показателей стабильности и СЗМР у подростков 12–14 лет с разным уровнем физической тренированности показали, что у спортсменов компенсация снижения координации движений происходит на фоне лучшего развития ЗМР при отсутствии выраженных гормональных сдвигов в отличие от их сверстников, не занимающихся профессиональными видами спорта.

Н.О. Мартусевич была изучена динамика ЗМР спортсменов-гребцов с целью комплексного контроля текущего состояния ЦНС [47]. Психофизиологический контроль спортсменов, деятельность которых требует особенно устойчивого внимания, быстроты реакций, стабильной работы всех функциональных систем на протяжении тренировочного процесса, позволяет своевременно принимать решения по его оптимизации.

Функциональные особенности ЦНС спортсменов, особенно игровых видов спорта, во многом определяют эффективность технико-тактических действий атлетов и способствуют совершенствованию их спортивного мастерства. Поскольку утомление в первую очередь развивается в ЦНС, а затем отражается на работе мышц, то изучение типологических свойств нервной системы позволяет определить уровень перетренированности, изменение ФС организма в сторону его ухудшения и, соответственно, своевременно провести мероприятия по оптимизации работоспособности и совершенствованию спортивного мастерства. В связи с вышеизложенным И.Е. Попова и А.В. Сысоев для получения информации о ФС ЦНС баскетболисток использовали ПЗМР [48]. Результаты исследования выявили повышение устойчивости реакции, уровня функциональных возможностей баскетболисток, показавших более эффективную игру. У этих девушек процесс восприятия и переработки афферентной информации происходит быстрее, преобладает подвижность нервных процессов.

Тест ПЗМР был включен в разработанные оценочные шкалы индивидуально-типологических свойств высшей нервной деятельности и сенсомоторных функций квалифицированных спортсменов, специализирующихся в борьбе хапсагай [49]. По мнению авторов, использование данных шкал позволяет дифференцировать психофизиологическое состояние спортсменов, вносить коррекцию в процесс тренировки, прогнозировать успешность выступления на соревнованиях в данном виде спорта.

Спортивная работоспособность, ФС организма в условиях высокоинтенсивных физических и психоэмоциональных нагрузок во многом зависят от микроклимата, качественного состава воздуха в спортивном зале. Оценка быстроты реакции, работоспособности, внимания, координации движений в разной воздушной среде показала значимые различия параметров ПЗМР и СЗМР, подтвердив пользу искусственной аэроионизации [50].

Психофизиологическое состояние спортсменов, играющее важную роль в эффективности соревновательной деятельности, легко и быстро можно оценить по времени ЗМР разной сложности. Это и было использовано О.Б. Немцевым и соавт. при выявлении возможности влияния кофеина на ФС нервной системы и результативность соревновательной деятельности [51]. Полученные результаты неоднозначны, целесообразность приема кофеина, в частности игроками в настольный теннис, должна решаться с учетом индивидуальных реакций.

Таким образом, показатели ЗМР характеризуют состояние нервных процессов организма и его индивидуально-типологические особенности и рассматриваются как интегральные показатели ФС ЦНС. Оценка ЗМР является достаточно простым и точным нейрофизиологическим индикатором нейродинамических свойств нервной системы, общего уровня работоспособности и активности ЦНС, что обуславливает распространенность его использования в области исследования психомоторных функций человека.

Литература

1. Хорунжий А.А. Методы тестирования и анализа психомоторных способностей дзюдоистов 11–13 лет. Физическая культура и спорт: воспитание, образование, тренировка. 2017; 4: 34–36.
2. Смирнов В.М., Свешников Д.С., Умрюхин А.Е., ред. Физиология: учебник для студентов лечебного и педиатрического факультетов. Москва: МИА; 2019. 520.
3. Дорджиева Д.Б., Бадмаева И.А., Карлова С.В., Лиджигорьева Ц.В. Возрастные различия времени зрительно-моторной реакции у школьников. Наука вчера, сегодня, завтра. 2017; 7 (41): 6–10.
4. Даренская Н.Г., Ушаков И.Б., Иванов И.В., Насонова Т.А., Есауленко И.Ю., Попов В.И. Экстраполяция экспериментальных данных на человека: принципы, подходы, обоснование методов и их использование в физиологии и радиобиологии: руководство. Москва; Воронеж: ИСТОКИ; 2004. 232.
5. Savion-Lemieux T., Bailey J.A., Penhune V.B. Developmental Contributions to Motor Sequence learning. Exp. Brain Res. 2009; 2: 293–306.
6. ШUTOва С.В., Муравьева И.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС. Вестник ТГУ. 2013; 5: 2831–2840.
7. Антипова Е.И., Шибкова Д.З. Психофизиологические риски, обусловленные условиями труда специалистов социальной сферы. Фундаментальные исследования. 2014; 9–7: 1532–1537.
8. Финк А.В. Исследование влияния уровня освещенности на чувствительность сетчатки глаз и время зрительно-моторной реакции. Известия Алтайского государственного университета. 2009; 3 (63): 30–32.
9. Капцов В.А., Сосунов Н.Н., Шищенко И.И., Викторов В.С., Тулушев В.Н., Дейнего В.Н., Бухарева Е.А., Мурашова М.А., Шищенко А.А. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света. Гигиена и санитария. 2014; 93 (4): 120–123.
10. Губарева Л.И., Пономарева Т.Ю., Ермолова Л.С. Особенности функционирования центральной нервной системы у работников газотранспортной системы с разной степенью адаптации к условиям профессиональной среды. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2016; 11 (4): 573–576.
11. Тожибоева Д.А., Мансуров М.А.У., Мухамедова У.Н.К. Анализ результатов хронорефлексометрии по скорости зрительно-моторной реакции работающих. Молодой ученый. 2017; 1–2 (135): 45–47.
12. Ненахов И.Г., Степкин Ю.И., Якимова И.А. Оценка специфики сенсомоторных реакций сотрудников аккредитованного испытательного лабораторного центра в процессе профессиональной деятельности. Анализ риска здоровью. 2018; 1: 59–65.
13. Ахмедова О.О., Овезгельдыева Г.О., Григорьян А.Г. Психофизиологическое состояние студентов-первокурсников с разным уровнем двигательной активности. Физиология человека. 2011; 37 (5): 84–90.
14. Черевикова И.А., Ярославцева И.В. Функциональное состояние студентов бакалавриата. Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Психология. 2017; 21: 99–104.
15. Ярославцева И.В., Гутник И.Н., Конопак И.А., Гусев А.Н., Черевикова И.А. Экспресс-диагностика функционального состояния ЦНС (на примере диагностики ФС ЦНС учащихся высшего учебного заведения). Экспериментальная психология. 2018; 11 (2): 110–120.
16. Соболев В.И., Труш В.В., Костин Н.Ф. Оценка рекреационной эффективности зимних каникул на психофизиологическое состояние студентов-первокурсников. Проблемы современного педагогического образования. 2018; 59–1: 358–364.
17. Земскова А.А., Кравцова Н.А. Взаимосвязь жизнестойкости с психофизиологическими свойствами курсантов в тренировочных условиях. Сибирский психологический журнал. 2017; 65: 40–52.
18. Кислицын М.Н., Кошевец Г.В., Халфина Р.Р. Особенности простой зрительно-моторной реакции как предиктора спортивной успешности в служебно-прикладном спорте. Вестник психофизиологии. 2016; 2: 98–100.
19. Шаламова Е.Ю., Сафонова В.Р., Рагозин О.Н., Корчин В.И. Профиль функциональной асимметрии по результатам простой зрительно-моторной реакции у представителей различных биоритмологических стереотипов. Вестник новых медицинских технологий. 2016; 23 (1): 102–106.
20. Кринко О. Взаимодействие доминантного и субдоминантного полушарий при выполнении простой зрительно-моторной реакции. Международный школьный научный вестник. 2017; 1: 33–36.

21. Матвеев С.С., Шаяхметова Э.Ш., Матвеева Л.М., Дубовицкая Т.Д. Исследование работоспособности и утомления студентов с различным профилем функциональной межполушарной асимметрии. *Здоровье и образование в XXI веке: электронный научно-образовательный вестник*. 2016; 18 (4): 30–36.
22. Белоедов А.В., Елисеев Е.В. Физиологические особенности латерализации и межполушарной асимметрии у айкидоистов в возрастном и спортивно-квалификационном аспектах. *Здравоохранение, образование и безопасность*. 2018; 1 (13): 152–160.
23. Гулин А.В., Шутова С.В., Муравьева И.В. Гендерные особенности скорости и точности сенсомоторных реакций студентов в течение учебного семестра. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Медицина. Фармация*. 2013; 4 (147): 170–177.
24. Фролова А.С., Кротенок К.С. Гендерные различия сенсомоторного реагирования студентов медицинского университета с разным типом вегетативной регуляции. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018; 5–8 (37): 58–63.
25. Дерягина Л.Е., Полозова Т.Ю., Костина Л.Н., Усачева И.В. Гендерные особенности сенсомоторных реакций у курсантов вуза Министерства внутренних дел. *Экология человека*. 2018; 7: 24–28.
26. Колосова О.Н., Николаева Е.Н., Бельчусова Е.А., Мельгуй Н.В. Сезонная динамика скорости зрительно-моторных реакций у студентов в условиях Севера. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; 6: 1352.
27. Дерябина И.Н., Выучейская М.В. Кратковременная память и зрительно-моторные реакции выбора у женщин 50–80 лет. *Science Time*. 2015; 9 (21): 78–80.
28. Дорджиева Д.Б., Бадмаева И.А., Карлова С.В., Лиджигоряева Ц.В. Возрастные различия времени зрительно-моторной реакции у школьников. *Наука вчера, сегодня, завтра*. 2017; 7 (41): 6–10.
29. Гилева О.Б. Индивидуальные и возрастные различия времени зрительно-моторной реакции у школьников 7–16 лет г. Екатеринбурга. *Экология человека*. 2011; 4: 43–49.
30. Дюсенова А.А. Центральная нервная система: учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург: НГУ физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта; 2009. 44.
31. Герасимова О.Ю. Время простых и сложных сенсомоторных реакций как один из показателей уровня интеллекта у старших дошкольников. *Евразийский союз ученых*. 2015; 10–1 (19): 135–138.
32. Канжсин А.В. Время зрительно-моторных реакций в дифференциальной диагностике синдрома дефицита внимания с гиперактивностью. *Наука 21 века: вопросы, гипотезы, ответы*. 2015; 5 (14): 72–75.
33. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В. Особенности зрительно-моторных реакций детей 8–11 лет с высоким уровнем тревожности. *Экология человека*. 2011; 5: 43–48.
34. Нелина Э.В., Белова О.А. Психофизиологическая характеристика зрительно-моторных реакций девушек 16–18 лет, находящихся в условиях пенитенциарной системы. *Здоровье и образование в XXI веке: электронный научно-образовательный вестник*. 2012; 14 (10): 277–278.
35. Губарева Л.И., Прасолова О.В. Функциональное состояние центральной нервной системы у учащихся инновационных школ. *Фундаментальные исследования*. 2013; 6-2: 346–351.
36. Кондакова О.Э., Шилов С.Н., Кирко В.И. Психофизиологические и адаптивные характеристики детей и подростков, проживающих на Крайнем Севере. *Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Биология*. 2017; 10 (3): 312–322.
37. Николаева Е.Н., Гуляева Н.А., Колосова О.Н. Оценка функционального состояния ЦНС по параметрам зрительно-моторных реакций у подростков. *Здоровье и образование в XXI веке*. 2018; 20 (9): 32–36.
38. Осин М.В. Оценка умственной и физической работоспособности детей 12 лет, проживающих в условиях Севера. *Инновационная наука*. 2018; 12: 12–16.
39. Арент Е.А. Показатели простой зрительно-моторной реакции допризывников Среднего Приобья. *Достижения вузовской науки*. 2013; 7: 9–12.
40. Колобков П.А., Соколова Ф.М., Колготин Г.Г., Олисов Д.Г. Изменения психофизиологических показателей у лыжников на различных этапах тренировочного процесса. *Ученые записки*. 2014; 1 (107): 44–47.
41. Мосягин И.Г. Динамика психофизиологических показателей легкоатлетов и лыжников в течение сезонов года на Европейском Севере России. *Экология человека*. 2016; 6: 33–38.
42. Матвиенко С.В., Порядина В.А., Хачатурова Э.В. Экспресс-психодиагностика спортсменов как метод прогнозирования успешности выступлений. *Человеческий капитал*. 2015; 3 (75): 141–144.
43. Корельская И.Е., Кузнецов А.А. Экспресс-оценка состояния центральной нервной системы чело-

- века по параметрам простой зрительно-моторной реакции. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016; 8–2: 194–197.
44. Абдуллаев И.М., Губарева Л.И. Онтогенетические особенности функционирования центральной нервной системы у успешных и малоуспешных спортсменов-спринтеров. Фундаментальные исследования. 2013; 11–9: 1856–1860.
45. Соколова Л.В., Сунцов С.А. Динамика показателей функционального состояния центральной нервной системы спортсменов-единоборцев 12–14 лет. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер.: Медико-биологические науки. 2015; 4: 99–106.
46. Менджерский А.М., Карантыш Г.В., Айдаркина М.Е., Косенко Ю.В., Дмитренко Л.М. Показатели стабильности и сложной зрительно-моторной реакции у детей 12–14 лет, занимающихся спортом. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014; 11–4: 603–607.
47. Мартусевич Н.О. Динамика сенсомоторных реакций на различных этапах тренировочного процесса у спортсменов-гребцов. Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія. 2018; 2 (52): 111–119.
48. Попова И.Е., Сыроев А.В. Эффективность игровых действий и типологические особенности нервной системы баскетболистов. Прикладная спортивная наука. 2018; 1 (7): 26–31.
49. Уларов А.П., Яковлев П.И., Иванов А.И., Черкашин И.А. Оценка индивидуально-типологических свойств высшей нервной деятельности и сенсомоторных функций спортсменов в борьбе хапсагай. Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2018; 10 (164): 329–333.
50. Лысенко А.В., Таятина Т.В., Недоруба Е.А. Оценка влияния степени аэроионизации воздушной среды на функциональное состояние организма спортсменов. Современные проблемы науки и образования. 2014; 4: 252.
51. Немцев О.Б., Годозе Б.М., Немцева Н.А., Борисов А.Б., Гришин А.Ф. Влияние кофеина на время простой зрительно-моторной реакции и реакции выбора. Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2017; 12 (154): 195–198.

VISUAL-MOTOR REACTIONS AS AN INDICATOR OF CNS FUNCTIONAL STATE

Yu.P. Ignatova, I.I. Makarova, K.N. Yakovleva, A.V. Aksenova

Tver State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Tver, Russia

e-mail: physiologistgma@mail.ru

The human functional state is a prognostic indicator of the performance measurement. It is determined by the degree of activation of all body systems involved in a certain activity. The success of such an activity depends on the backup capabilities of the central nervous system. Afferent information triggers certain motor programs and activates those CNS parts, which control and correct such programs. The coordination of motor action sensory and motor components is an essential condition for sensory system functioning. The evaluation of visual and motor reactions is the simplest and most popular method, which reflects the speed of nervous processes, their switching, the level of visual-motor coordination, the general level of CNS efficacy and activity. The technique, which determines the parameters of various visual-motor reactions, characterizes the excitability of the visual analyzer cortical section, the excitation rate along the reflex arc to the effector inclusively, and contractile function. The time from the signaling to the body response is spent on data conducting and processing in the most complex parts of the brain and, therefore, serves as an indicator of the CNS functional state.

The purpose of this paper is to highlight the method of evaluating the parameters of visual-motor reactions as integral indicators of the CNS functional state.

Literature data analysis has shown that indicators of visual-motor reactions characterize the state of the nervous processes in the body and its individual and typological characteristics. Moreover, they are considered as integral indicators of the CNS functional state. Assessment of visual-motor reactions is a simple and accurate neurophysiological indicator of the CNS neurodynamic characteristics, the overall performance level and CNS activity, which determines its prevalence in the study of human psychomotor functions.

Keywords: simple and complex visual-motor reactions, CNS functional state.

References

1. Khorunzhiy A.A. Metody testirovaniya i analiza psikhomotornykh sposobnostey dzyudoistov 11–13 let [Methods for testing and analyzing the psychomotor abilities of judo players (11–13 years of age)]. *Fizicheskaya kul'tura i sport: vospitanie, obrazovanie, trenirovka*. 2017; 4: 34–36 (in Russian).
2. Smirnov V.M., Sveshnikov D.S., Umryukhin A.E., ed. *Fiziologiya: uchebnik dlya studentov lechebnogo i pediatricheskogo fakul'tetov* [Physiology: a textbook for students of medicine and pediatrics]. Moscow: MIA; 2019. 520 (in Russian).
3. Dordzhieva D.B., Badmaeva I.A., Karlova S.V., Lidzhigoryaeva Ts.V. Vozrastnye razlichiya vremeni zritel'no-motornoy reaktsii u shkol'nikov [Age-related differences in the time of the visual-motor reaction in schoolchildren]. *Nauka vchera, segodnya, zavtra*. 2017; 7 (41): 6–10 (in Russian).
4. Darenskaya N.G., Ushakov I.B., Ivanov I.V., Nasonova T.A., Esaulenko I.Yu., Popov V.I. *Ekstrapolyatsiya eksperimental'nykh dannyykh na cheloveka: printsipy, podkhody, obosnovanie metodov i ikh ispol'zovanie v fiziologii i radiobiologii: rukovodstvo* [Extrapolation of experimental data to humans: principles, approaches, method validation and use in physiology and radiobiology: guidance]. Moscow; Voronezh: ISTOKI; 2004. 232 (in Russian).
5. Savion-Lemieux T., Bailey J.A., Penhune V.B. Developmental Contributions to Motor Sequence learning. *Exp. Brain Res*. 2009; 2: 293–306.
6. Shutova S.V., Murav'eva I.V. Sensomotornye reaktsii kak kharakteristika funktsional'nogo sostoyaniya TsNS [Sensomotor reactions as a characteristic of the CNS functional state]. *Vestnik TGU*. 2013; 5: 2831–2840 (in Russian).
7. Antipova E.I., Shibkova D.Z. Psikhofiziologicheskie riski, obuslovlennyye usloviyami truda spetsialistov sotsial'noy sfery [Psychophysiological risks of social sphere specialists preconditioned by their labour practices]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; 9–7: 1532–1537 (in Russian).
8. Fink A.V. Issledovanie vliyaniya urovnya osveshchennosti na chuvstvitel'nost' setchatki glaz i vremya zritel'no-motornoy reaktsii [Investigation of illumination level influence on retina sensitivity and visual-motor reaction time]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009; 3 (63): 30–32 (in Russian).
9. Kaptsov V.A., Sosunov N.N., Shishchenko I.I., Viktorov V.S., Tulushev V.N., Deynego V.N., Bukhareva E.A., Murashova M.A., Shishchenko A.A. Funktsional'noe sostoyanie zritel'nogo analizatora pri ispol'zovanii traditsionnykh i svetodiodnykh istochnikov sveta [Functional state of the visual analyzer under traditional and LED illumination]. *Gigiena i sanitariya*. 2014; 93 (4): 120–123 (in Russian).
10. Gubareva L.I., Ponomareva T.Yu., Ermolova L.S. Osobennosti funktsionirovaniya tsentral'noy nervnoy sistemy u rabotnikov gazotransportnoy sistemy s raznoy stepen'yu adaptatsii k usloviyam professional'noy sredy [CNS functioning in workers of the gas transportation system with varying degrees of adaptation to the professional environment]. *Meditinskiy vestnik Severnogo Kavkaza*. 2016; 11 (4): 573–576 (in Russian).
11. Tozhiboeva D.A., Mansurov M.A.U., Mukhamedova U.N.K. Analiz rezul'tatov khronorefleksometrii po skorosti zritel'no-motornoy reaktsii rabotayushchikh [Analysis of chronoreflexometry results according to the speed of visual-motor reactions in workers]. *Molodoy uchenyy*. 2017; 1–2 (135): 45–47 (in Russian).
12. Nenakhov I.G., Stepkin Yu.I., Yakimova I.A. Otsenka spetsifiki sensomotornykh reaktsiy sotrudnikov akkreditovannogo ispytatel'nogo laboratornogo tsentra v protsesse professional'noy deyatel'nosti [Assessment of sensorimotor reaction peculiarities detected in certified test laboratory center staff during their professional activities]. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; 1: 59–65 (in Russian).
13. Akhmedova O.O., Ovezgel'dyeva G.O., Grigor'yan A.G. Psikhofiziologicheskoe sostoyanie studentov-pervokursnikov s raznym urovnem dvigatel'noy aktivnosti [Psychophysiological state of freshmen with different levels of motor activity]. *Fiziologiya cheloveka*. 2011; 37 (5): 84–90 (in Russian).
14. Cherevikova I.A., Yaroslavtseva I.V. Funktsional'noe sostoyanie studentov bakalavriata [Functional status of undergraduate students]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Psikhologiya. 2017; 21: 99–104 (in Russian).
15. Yaroslavtseva I.V., Gutnik I.N., Konopak I.A., Gusev A.N., Cherevikova I.A. Ekspress-diagnostics funktsional'nogo sostoyaniya TsNS (na primere diagnostiki FS TsNS uchashchikhsya vysshego uchebnogo zavedeniya) [Express diagnostics of the CNS functional state (via example of CNS functional state diagnosis of college students)]. *Eksperimental'naya psikhologiya*. 2018; 11 (2): 110–120 (in Russian).

16. Sobolev V.I., Trush V.V., Kostin N.F. Otsenka rekreatsionnoy effektivnosti zimnikh kanikul na psikhofiziologicheskoe sostoyanie studentov-pervokursnikov [Assessment of winter holiday recreational effectiveness on the psychophysiological state of first-year students]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. 2018; 59–1: 358–364 (in Russian).
17. Zemskova A.A., Kravtsova N.A. Vzaimosvyaz' zhiznestoykosti s psikhofiziologicheskimi svoystvami kursantov v trenirovochnykh usloviyakh [Relationship of resilience and psychophysiological characteristics of cadets under training]. *Sibirskiy psikhologicheskii zhurnal*. 2017; 65: 40–52 (in Russian).
18. Kislytsyn M.N., Koshevets G.V., Khalfina R.R. Osobennosti prostoy zritel'no-motornoy reaktsii kak prediktora sportivnoy uspekhov v sluzhebno-prikladnom sporte [Characteristics of simple visual-motor reactions as a predictor of athletic success in applied sport]. *Vestnik psikhofiziologii*. 2016; 2: 98–100 (in Russian).
19. Shalamova E.Yu., Safonova V.R., Ragozin O.N., Korchin V.I. Profil' funktsional'noy asimmetrii po rezul'tatam prostoy zritel'no-motornoy reaktsii u predstaviteley razlichnykh bioritmologicheskikh stereotipov [Profile of functional asymmetry of simple hand-eye reaction results in different biorhythm stereotyped types]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2016; 23 (1): 102–106 (in Russian).
20. Krinko O. Vzaimodeystvie dominantnogo i subdominantnogo polushariy pri vypolnenii prostoy zritel'no-motornoy reaktsii [Interaction of dominant and subdominant hemispheres while performing simple visual-motor reactions]. *Mezhdunarodnyy shkol'nyy nauchnyy vestnik*. 2017; 1: 33–36 (in Russian).
21. Matveev S.S., Shayakhmetova E.Sh., Matveeva L.M., Dubovitskaya T.D. Issledovanie rabotosposobnosti i utomleniya studentov s razlichnym profilem funktsional'noy mezhpolutarnoy asimmetrii [Performance efficiency and lassitude of students with different profiles of functional interhemispheric asymmetry]. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke: elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy vestnik*. 2016; 18 (4): 30–36 (in Russian).
22. Beloedov A.V., Eliseev E.V. Fiziologicheskie osobennosti lateralizatsii i mezhpolutarnoy asimmetrii u aikidoistov v vozrastnom i sportivno-kvalifikatsionnom aspektakh [Physiological characteristics of lateralization and interhemispheric asymmetry in aikidoka in age and sports qualification aspects]. *Zdravookhraneniye, obrazovanie i bezopasnost'*. 2018; 1 (13): 152–160 (in Russian).
23. Gulin A.V., Shutova S.V., Murav'eva I.V. Gendernye osobennosti skorosti i tochnosti sensomotornykh reaktsiy studentov v techenie uchebnogo semestra. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Gender characteristics of students' sensorimotor reaction speed and accuracy during the academic semester]. *Ser.: Meditsina. Farmatsiya*. 2013; 4 (147): 170–177 (in Russian).
24. Frolova A.S., Krotenok K.S. Gendernye razlichiya sensomotornogo reagirovaniya studentov meditsinskogo universiteta s raznym tipom vegetativnoy regulatsii [Gender differences in the sensorimotor response of medical university students with different types of autonomic regulation]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennoy mire*. 2018; 5–8 (37): 58–63 (in Russian).
25. Deryagina L.E., Polozova T.Yu., Kostina L.N., Usacheva I.V. Gendernye osobennosti sensomotornykh reaktsiy u kursantov vuza Ministerstva vnutrennikh del [Gender characteristics of sensorimotor reactions in cadets of the University of the Ministry of the Interior]. *Ekologiya cheloveka*. 2018; 7: 24–28 (in Russian).
26. Kolosova O.N., Nikolaeva E.N., Bel'chusova E.A., Mel'guy N.V. Sezonnaya dinamika skorosti zritel'no-motornykh reaktsiy u studentov v usloviyakh Severa [Seasonal dynamics of visual-motor reaction rate in students of the North]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; 6: 1352 (in Russian).
27. Deryabina I.N., Vyucheyanskaya M.V. Kratkovremennaya pamyat' i zritel'no-motornye reaktsii vybora u zhenshchin 50–80 let [Short-term memory and visual-motor choice reactions in women 50–80 years of age]. *Science Time*. 2015; 9 (21): 78–80 (in Russian).
28. Dordzhieva D.B., Badmaeva I.A., Karlova S.V., Lidzhigoryaeva Ts.V. Vozrastnye razlichiya vremeni zritel'no-motornoy reaktsii u shkol'nikov [Age-related differences in time of visual-motor reactions in schoolchildren]. *Nauka vchera, segodnya, zavtra*. 2017; 7 (41): 6–10 (in Russian).
29. Gileva O.B. Individual'nye i vozrastnye razlichiya vremeni zritel'no-motornoy reaktsii u shkol'nikov 7–16 let g. Ekaterinburga [Individual and age-related differences in the time of visual-motor reactions in schoolchildren of 7–16 years of age in Yekaterinburg]. *Ekologiya cheloveka*. 2011; 4: 43–49 (in Russian).
30. Dyusenova A.A. *Tsentral'naya nervnaya sistema* [Central nervous system]: ucheb.-metod. posobie [student's manual]. St. Petersburg: NGU fiz. kul'tury, sporta i zdorov'ya im. P.F. Lesgafta; 2009. 44 (in Russian).

31. Gerasimova O.Yu. Vremya prostykh i slozhnykh sensomotornykh reaktsiy kak odin iz pokazateley urovnya intellekta u starshikh doshkol'nikov [Duration of simple and complex sensorimotor reactions as one of the indicators of intelligence level in older preschoolers]. *Evrasiyskiy soyuz uchenykh*. 2015; 10-1 (19): 135–138 (in Russian).
32. Kanzhin A.V. Vremya zritel'no-motornykh reaktsiy v differentsial'noy diagnostike sindroma defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu [Duration of visual-motor reactions in differential diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder]. *Nauka 21 veka: voprosy, gipotezy, otvety*. 2015; 5 (14): 72–75 (in Russian).
33. Nekhoroshkova A.N., Griбанov A.V. Osobennosti zritel'no-motornykh reaktsiy detey 8–11 let s vysokim urovnem trevozhnosti [Characteristics of visual-motor reactions in 8–11 year-olds with a high level of anxiety]. *Ekologiya cheloveka*. 2011; 5: 43–48 (in Russian).
34. Nelina E.V., Belova O.A. Psikhofiziologicheskaya kharakteristika zritel'no-motornykh reaktsiy devushek 16–18 let, nakhodyashchikhsya v usloviyakh penitentsiarnoy sistemy [Psychophysiological characteristics of the visual-motor reactions in incarcerated 16-18 year-old girls]. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke: elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy vestnik*. 2012; 14 (10): 277–278 (in Russian).
35. Gubareva L.I., Prasolova O.V. Funktsional'noe sostoyanie tsentral'noy nervnoy sistemy u uchashchikhsya innovatsionnykh shkol [CNS functional state in students of innovative schools]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; 6–2: 346–351 (in Russian).
36. Kondakova O.E., Shilov S.N., Kirko V.I. Psikhofiziologicheskie i adaptivnye kharakteristiki detey i podrostkov, prozhivayushchikh na Kraynem Severe [Psychophysiological and accommodational characteristics of children and adolescents living in the Far North]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Biologiya*. 2017; 10 (3): 312–322 (in Russian).
37. Nikolaeva E.N., Gulyaeva N.A., Kolosova O.N. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya TsNS po parametram zritel'no-motornykh reaktsiy u podrostkov [Assessment of the CNS functional state according to the parameters of visual-motor reactions in adolescents]. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke*. 2018; 20 (9): 32–36 (in Russian).
38. Osin M.V. Otsenka umstvennoy i fizicheskoy rabotosposobnosti detey 12 let, prozhivayushchikh v usloviyakh Severa [Assessment of the mental and physical performance of 12 year-olds living in the North]. *Innovatsionnaya nauka*. 2018; 12: 12–16 (in Russian).
39. Arent E.A. Pokazатели prostoy zritel'no-motornoy reaktsii doprizyvnikov Srednego Priob'ya [Indicators of simple visual-motor reactions in draftees of the Middle Ob]. *Dostizheniya vuzovskoy nauki*. 2013; 7: 9–12 (in Russian).
40. Kolobkov P.A., Sokolova F.M., Kolgotin G.G., Olisov D.G. Izmeneniya psikhofiziologicheskikh pokazateley u lyzhnikov na razlichnykh etapakh trenirovochnogo protsessa [Changes in the psychophysiological parameters of skiers at various stages of training]. *Uchenye zapiski*. 2014; 1 (107): 44–47 (in Russian).
41. Mosyagin I.G. Dinamika psikhofiziologicheskikh pokazateley legkoatletov i lyzhnikov v techenie sezonov goda na Evropeyskom Severe Rossii [Dynamics of psychophysiological indicators of athletes and skiers throughout the year in the European North of Russia]. *Ekologiya cheloveka*. 2016; 6: 33–38 (in Russian).
42. Matvienko S.V., Poryadina V.A., Khachaturova E.V. Ekspress-psikhodiagnostika sportsmenov kak metod prognozirovaniya uspekhov vystupleniy [Express psychodiagnosics of athletes as a method for predicting successful performances]. *Chelovecheskiy kapital*. 2015; 3 (75): 141–144 (in Russian).
43. Korel'skaya I.E., Kuznetsov A.A. Ekspress-otsenka sostoyaniya tsentral'noy nervnoy sistemy cheloveka po parametram prostoy zritel'no-motornoy reaktsii [Express assessment of a human CNS state according to the parameters of a simple visual-motor reaction]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; 8–2: 194–197 (in Russian).
44. Abdullaev I.M., Gubareva L.I. Ontogeneticheskie osobennosti funktsionirovaniya tsentral'noy nervnoy sistemy u uspekhnykh i malouspekhnykh sportsmenov-sprinterov [Ontogenetic characteristics of the CNS functioning in successful and unsuccessful sprinters]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; 11–9: 1856–1860 (in Russian).
45. Sokolova L.V., Suntsov S.A. Dinamika pokazateley funktsional'nogo sostoyaniya tsentral'noy nervnoy sistemy sportsmenov-edinobortsev 12–14 let [Indicators of the CNS functional state in 12–14 year-old martial artists]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*. 2015; 4: 99–106 (in Russian).

46. Mendzheritskiy A.M., Karantysh G.V., Aydarkina M.E., Kosenko Yu.V., Dmitrenko L.M. Pokazateli stabilogrammy i slozhnoy zritel'no-motornoy reaktsii u detey 12–14 let, zanimayushchikhsya sportom [Indicators of stabilograms and complex visual-motor reactions in 12–14 year-olds involved in sports]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014; 11–4: 603–607 (in Russian).
47. Martusevich N.O. Dinamika sensomotornykh reaktsiy na razlichnykh etapakh trenirovochnogo protsessa u sportsmenov-grebtsov [Dynamics of sensorimotor reactions at various stages of training in rowers]. *Vesnik Magileyskaya dzyarzhaynaga yuniversiteta imya A.A. Kulyashova*. Seryya B. Pryrodaznachyya navuki: matematyka, fizika, biyalogiya. 2018; 2 (52): 111–119 (in Russian).
48. Popova I.E., Sysoev A.V. Effektivnost' igrovyykh deystviy i tipologicheskie osobennosti nervnoy sistemy basketbolistok [Efficacy of games and typological characteristics of the nervous system in basketball players]. *Prikladnaya sportivnaya nauka*. 2018; 1 (7): 26–31 (in Russian).
49. Ularov A.P., Yakovlev P.I., Ivanov A.I., Cherkashin I.A. Otsenka individual'no-tipologicheskikh svoystv vysshey nervnoy deyatel'nosti i sensomotornykh funktsiy sportsmenov v bor'be khapsagay [Evaluation of individual and typological properties of higher nervous activity and sensorimotor functions of khapsagai athletes]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2018; 10 (164): 329–333 (in Russian).
50. Lysenko A.V., Tayutina T.V., Nedoruba E.A. Otsenka vliyaniya stepeni aeroionizatsii vozduшной sredy na funktsional'noe sostoyanie organizma sportsmenov [Assessment of the functional state aeroionization effect in athletes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; 4: 252 (in Russian).
51. Nemtsev O.B., Gogodze B.M., Nemtseva N.A., Borisov A.B., Grishin A.F. Vliyanie kofeina na vremya prostoy zritel'no-motornoy reaktsii i reaktsii vybora [Caffeine effect on the duration of a simple visual motor reaction and choice reaction]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2017; 12 (154): 195–198 (in Russian).

УДК 612.26; 612.22

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-52-62

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ В КЛЕТКЕ*

А.Н. Ветош

ФГБУН Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия;

ФГБОУ ВО «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья
им. П.Ф. Лесгафта», г. Санкт-Петербург, Россия;

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»,
г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: vjotnn@yahoo.com

Реакции организма человека на хроническую, острую или интервальную гипоксическую гипоксию различны и, возможно, запускаются отдельными внутриклеточными молекулярными механизмами. Для проверки этого предположения был проведен анализ литературных данных базы PubMed по ключевым словам «intracellular oxygen sensing». За период 1977–2019 гг. по данному вопросу было опубликовано почти 1000 работ, среди которых более 50 обзоров. Для анализа выбирались публикации, касающиеся молекулярной чувствительности к кислороду клеток тахитрофных тканей Metazoa, по преимуществу животных.

Реакции клеток на хроническую гипоксию определяются HIF-пулом, локализованным в их цитоплазме. Кислородная чувствительность клеток к острой гипоксии обусловлена молекулярными механизмами при участии калиевых каналов плазматических клеточных мембран и ассоциированных с ними околосмембранных комплексов. Молекулярные внутриклеточные реакции на интервальную гипоксию запускаются путем активизации прооксидантных процессов в митохондриях клеток. В данном обзоре обсуждаются особенности взаимодействия этих трех механизмов кислородной чувствительности клеток.

Ключевые слова: кислород, HIF, калиевые каналы плазматических мембран, митохондрии, АФК.

Варьирование временными параметрами предъявления человеку обедненных кислородом дыхательных газовых смесей ведет к тому, что в практике клинической и экспериментальной физиологии дыхания складываются представления о трех формах гипоксического воздействия. Это хроническая гипоксия, острая гипоксия и промежуточная, включающая черты обеих крайних форм, – интервальная гипоксия [1–3]. Длительное время применение этих трех подходов осуществлялось изолированно. Успехи молекулярной биологии и цитологии позволяют сегодня поставить вопрос о степени общности механизмов реагирования клеток на предъявление гипоксического стимула с разным временным масштабом и периодичностью. Молекулярную базу

для анализа динамики внутриклеточных процессов в условиях гипоксии обеспечили работы Грега Семензы [4].

Хроническая гипоксия. Четверть века назад в терминологический обиход специалистов вошло понятие о внутриклеточном факторе, индуцированном гипоксией, – HIF. Было показано, что он имеется в цитоплазме всех клеток Metazoa [4]. Открытию HIF предшествовало многолетнее изучение роли эритропоэтина (Еро) в регуляции процессов кроветворения, завершившееся открытием Еро-гена, а затем и фактора цитоплазматической локализации, участвующего в процессах транскрипции этого гена [5, 6]. Более поздние исследования показали, что HIF инициирует запуск не одного, а множества генов в клетках млекопитающих на фоне снижения поступления кислорода в цитоплазму [7]. В условиях нормоксии, когда напряжение ки-

* Работа выполнена по Госзаданию AAAA-A18-118012290373-3.

слорода в клетке колеблется в диапазоне 20–7 мм рт. ст., конститутивно присутствующие в цитоплазме молекулы HIF подвержены протеолизу. При этом фактор ингибирования HIF, который назвали FIH, отщепляет от фактора, ингибируемого гипоксией, аспарагиновый фрагмент при участии 2-оксиглутарата, аскорбиновой кислоты и Fe^{++} [8, 9].

В процессе нормоксического протеолиза HIF участвуют также пролилгидроксилаза, белок супрессии опухоли фон Хиппел–Линдау и убиквитин. В итоге молекулы фактора, индуцированного гипоксией, попадают в протеосому, где происходит их окончательная фрагментация [10].

Умеренное уменьшение напряжения кислорода в цитоплазме клетки изменяет катаболизм HIF. Пролгидроксилаза перестает влиять на исход начального этапа деградации фактора. Промежуточные продукты метаболизма HIF- α и HIF- β теперь не доступны для протеосомальной деструкции [9, 10].

В условиях гипоксии начальные этапы протеолиза HIF становятся невозможными. При этом HIF- α и HIF- β вкуче с коактиватором транскрипции P300/CBP оказываются в ядре клетки, где включают транскрипцию большого количества генов. Эти гены участвуют в формировании клеточного ответа на гипоксию [9, 10]. Транскрипционный каскад, запускаемый HIF, может активировать до 1500 генов [11, 12].

Скорость вовлечения клеток в реакции на гипоксию с участием HIF не высока. Ранние результаты перестройки внутриклеточного метаболизма в ответ на интрацеллюлярную гипоксию проявляются через час [13]. Максимальное значение экспрессии генов в условиях хронической внутриклеточной гипоксии наблюдается спустя 24 ч [10]. Мыши, нокаутированные по HIF, погибают на десятый день эмбрионального развития. Следовательно, HIF-зависимый механизм реагирования на действие хронической гипоксии востребован уже на пренатальном этапе индивидуального развития [14].

Уменьшение внутриклеточной концентрации кислорода затрагивает метаболизм около 200 кислородчувствительных белков, активирующих каскады посттрансляционных изменений других белков. Среди кислород-

чувствительных белков выделяют гидроксилазы, из которых важнейшими являются пролилгидроксилазы. Последние гидроксилируют аминокислоту пролин в различных белковых молекулах [15].

Часть молекулы пролилгидроксилазы (PHD), ассоциированная с трансляцией молекул HIF в цитоплазме на фоне клеточной нормоксии, перманентно гидроксилирует пролин α -субъединиц данной гетеродимерной молекулы. Это приводит к кислородзависимой деградации HIF- α [13]. Следовательно, PHD играет роль ближайшего регулятора активности HIF [16]. Очевидно, что означенное распределение ролей между этими молекулами заставляет нас считать цитоплазматическим сенсором на кислород не HIF, а HIF-гидроксилазы, в т.ч. PHD [17].

Следовательно, у высших млекопитающих в цитоплазме клеток имеется кислородчувствительный метаболический пул (HIF-пул), включающий в себя субъединицы HIF- α и HIF- β . HIF- α имеет три вариации: HIF1- α , HIF2- α , HIF3- α . Первая из них экспрессируется во многих, если не во всех клетках млекопитающих, а вторая и третья присутствуют в некоторых видах эндотелия и соединительной ткани [18]. Помимо кислорода на молекулярные взаимоотношения в HIF-пуле влияют активные формы кислорода (АФК), NO, HSP90 и другие молекулы [19].

Таким образом, HIF-пул цитоплазмы клетки способен адекватно кооптировать многокомпонентный генетический ответ на предъявление продолжительного гипоксического стимула. Время реагирования этого пула велико и укладывается в диапазон от десятков минут до десятков часов.

Острая гипоксия. Молекулярные механизмы реагирования клеток на быстрое нарастание гипоксического стимула изучены в меньшей степени. Нобелевскую премию за обоснование роли хеморецепторов, чувствительных к содержанию кислорода и локализующихся в сонных артериях и аорте, Корнелу Хеймансу присудили еще в 1938 г. Однако молекулярные механизмы сенсорной трансдукции динамики напряжения кислорода в управляющие нервные импульсы еще 50 лет оставались неясными.

В 1988 г. Жозе Лопес-Барнео с сотрудниками опубликовал доказательства того, что большие кальцийзависимые калиевые каналы (BK_{Ca}) клеточных мембран чувствительны к уменьшению напряжения кислорода (по сравнению со значением внутриклеточной нормы), т.е. чувствительны к гипоксии [20]. Их сообщение тщательно проверялось, и к 1997 г. появился первый обзор данных по кислородной чувствительности мембранных ионных каналов этого класса, цитирующий 73 публикации [21]. Авторы обзора показали, что BK_{Ca} перестают функционировать при понижении напряжения кислорода в околомембранном пространстве до значений менее 20 мм рт. ст. Этот эффект устойчиво воспроизводился в широком спектре клеточных моделей (нейронов коры гиппокампа и черной субстанции, гладкомышечных клеток артериальных сосудов, клеток нейроэпителиальных тел в бифуркациях бронхов, клеток первого типа каротидных тел). Было сделано предположение, что и другие типы ионных каналов плазматических мембран, возможно, также подвергаются модулирующему влиянию со стороны молекул кислорода. В дальнейшем это подтвердилось.

Последующие попытки найти кислородный сенсор внутри молекулярной структуры калиевых каналов не увенчались успехом [22]. К этому времени была сформулирована система взаимосвязанных вопросов, ответы на которые не удавалось получить в экспериментах с изолированными калиевыми каналами. Как эти каналы могут работать длительное время без митохондриальной поддержки при регистрации их активности в режиме patch clamp? Являются ли BK_{Ca} кислородными сенсорами или они только эффекторное звено в реакции на гипоксию? Почему BK_{Ca} реагируют на уменьшение напряжения кислорода в околомембранном пространстве клетки очень быстро (за несколько секунд)?

В поисках ответов на эти и другие актуальные вопросы начали складываться зачатки так называемой «мембранной гипотезы» [23–25]. В соответствии с этой гипотезой существуют неизвестные пока белковые ансамбли, прямо или дистантно связанные с BK_{Ca} и другими калиевыми каналами.

В дальнейшем экспериментально на клетках I типа каротидных тел крыс была показана тесная ассоциация молекулярной конструкции BK_{Ca} с белками гемоксигеназы-2 [26]. Последняя, преобразуя геминные молекулы, продуцирует CO, биливердин и Fe^{++} . В условиях внутриклеточной нормоксии в качестве кофакторов участвуют NADP(H) и молекулярный кислород. Монооксид углерода в условиях нормоксии выступает в роли активатора BK_{Ca} [27].

При уменьшении напряжения кислорода в зоне вышеописанных молекулярных агрегатов тоническое влияние CO на ионные каналы ослабевает и их проводимость для ионов K^+ снижается. Молекулы гемоксигеназы-2 играют, таким образом, в этом околомембранном молекулярном ансамбле роль кислородного сенсора.

Другие группы авторов сумели экспериментально обосновать ингибирующее влияние H_2S в управлении BK_{Ca} на фоне гипоксии в клетках I типа каротидных тел мышей, крыс и человека [28, 29]. Это привело к необходимости включить в «мембранную гипотезу», объясняющую влияние гипоксии на работу мембранных калиевых каналов, два внутриклеточных газотрансмиттера – CO и H_2S [25].

Авторы «мембранной гипотезы» утверждают, что калиевые каналы являются эффекторным звеном сигнальной сети околомембранной локализации [22, 24, 25]. Чувствительными же к недостатку кислорода в клетке следует считать процессы взаимодействия ассоциированных с этими каналами белков, таких как гемоксигеназа-2, NADP(H), цистионин-гаммалиаза, гуанилатциклаза, циклический гуанозинмонофосфат и протеинкиназа G.

Уменьшение проводимости калиевых каналов при умеренной гипоксии и их закрытие по мере развития кислорододефицитных состояний нарушают динамику формирования мембранного потенциала клеток. Это относится и к гломусным клеткам каротидных тел. Как следствие, усиливается импульсация в соответствующей ветви языкоглоточного нерва, что ведет к увеличению вентиляции легких.

В реализации сенсорной трансдукции уровня кислорода в клетках с участием BK_{Ca} и некоторых других классов калиевых цито-

плазматических каналов участвуют несколько внутриклеточных газовых трансмиттеров. Это монооксид углерода, активирующий функционирование калиевых каналов при нормоксии, сероводород, ингибирующий проводимость этих каналов при гипоксии, и, возможно, монооксид азота, чье действие сходно с влиянием CO [25, 30]. Такой сложный многокомпонентный механизм мембранной и околосмембранной локализации обеспечивает оперативную клеточную реакцию на быстрые вариации экстра- и интрацеллюлярных концентраций кислорода. На основании этого механизма эволюционно сложилась система хеморецепции содержания O₂ в крови на основе каротидных тел, оперативно обслуживающая многоклеточный организм в плане снабжения кислородом.

Интервальная гипоксия. Курсовая интервальная гипоксическая терапия занимает промежуточное место между хроническим и острым форматом предъявления гипоксического стимула. Поэтому можно ожидать появления попыток объяснить молекулярные внутриклеточные механизмы гипоксического терапевтического действия в интервальной форме как комбинацию активности HIF-пула и околосмембранных процессов, связанных с активностью калиевых каналов. Действительно, такой подход намечен в нескольких главах известной монографии под редакцией T.V. Serebrovskaya и Lei Xi [3]. Несмотря на разнообразие исходных аналитических позиций, все авторы этой книги, рискнувшие затронуть вопрос о возможных молекулярных механизмах терапевтического действия недостатка кислорода в прерывистом режиме, сходятся во мнении, что существенную роль при этом играет прооксидантная система клетки на основе сигнальных функций АФК [31–33].

Убедительно доказано, что в условиях гипоксии митохондриями кардиомиоцитов и миоцитов стенок легочной артерии производятся избыточные количества АФК [34, 35]. В частности, ферментативный комплекс цепи окислительного фосфорилирования I генерирует чрезмерное количество супероксид-анион-радикалов, а комплекс III продуцирует в этих условиях сверхнормативное количество

H₂O₂ [36, 37]. Далее молекулы АФК выходят из митохондрий в цитозоль, где оказывают модулирующее влияние на один из важнейших компонентов HIF-пула – фермент пролилгидроксилазу-2. По мнению G. Wayra et al. и их единомышленников, избыток АФК в этих условиях успевает частично денатурировать молекулы ферментов HIF-пула, что ведет к уменьшению их активности и прекращению гидролиза фактора, индуцируемого гипоксией [19].

Кроме того, избыток супероксид-анион-радикалов, денатурирующих цитоплазматические белки, может в соединении с оксидом азота генерировать очень активную форму азота – пероксинитрит [38]. И если вредоносное действие активных форм кислорода и азота носит умеренный характер, то клетки активируют цитоплазматический репаративный механизм на основе стрессовых белков или белков теплового шока (БТШ) [32, 39, 40]. Конститутивные БТШ осуществляют перманентную репарацию денатурированных внутриклеточных белковых агрегатов, а индуцибельные, способные появиться в цитоплазме клеток в течение 30–200 мин после предъявления гипоксического стимула, восстанавливают денатурационные повреждения, нанесенные АФК и пероксинитритом [38, 39].

Таким образом, при умеренной интенсивности гипоксического стимула в рамках протокола интервальной гипоксии клетки способны активизировать конститутивные и индуцибельные репарационные механизмы HSP-пула в цитоплазме. Более интенсивные гипоксические воздействия включают околосмембранный пул калиевых каналов. При длительном курсовом применении интервальной гипоксии клетки используют HIF-пул запуска генетического ответа на гипоксию. Все вышечисленные молекулярные механизмы находятся в режиме взаимного влияния.

Внутриклеточная сигнализация при адаптации к гипоксии. Цитоплазматические, околосмембранные и митохондриальные механизмы обеспечения кислородного гомеостаза клетки, являясь активными сторонами целлюлярного энергетического метаболизма, состоят в тесной сигнальной кооперации.

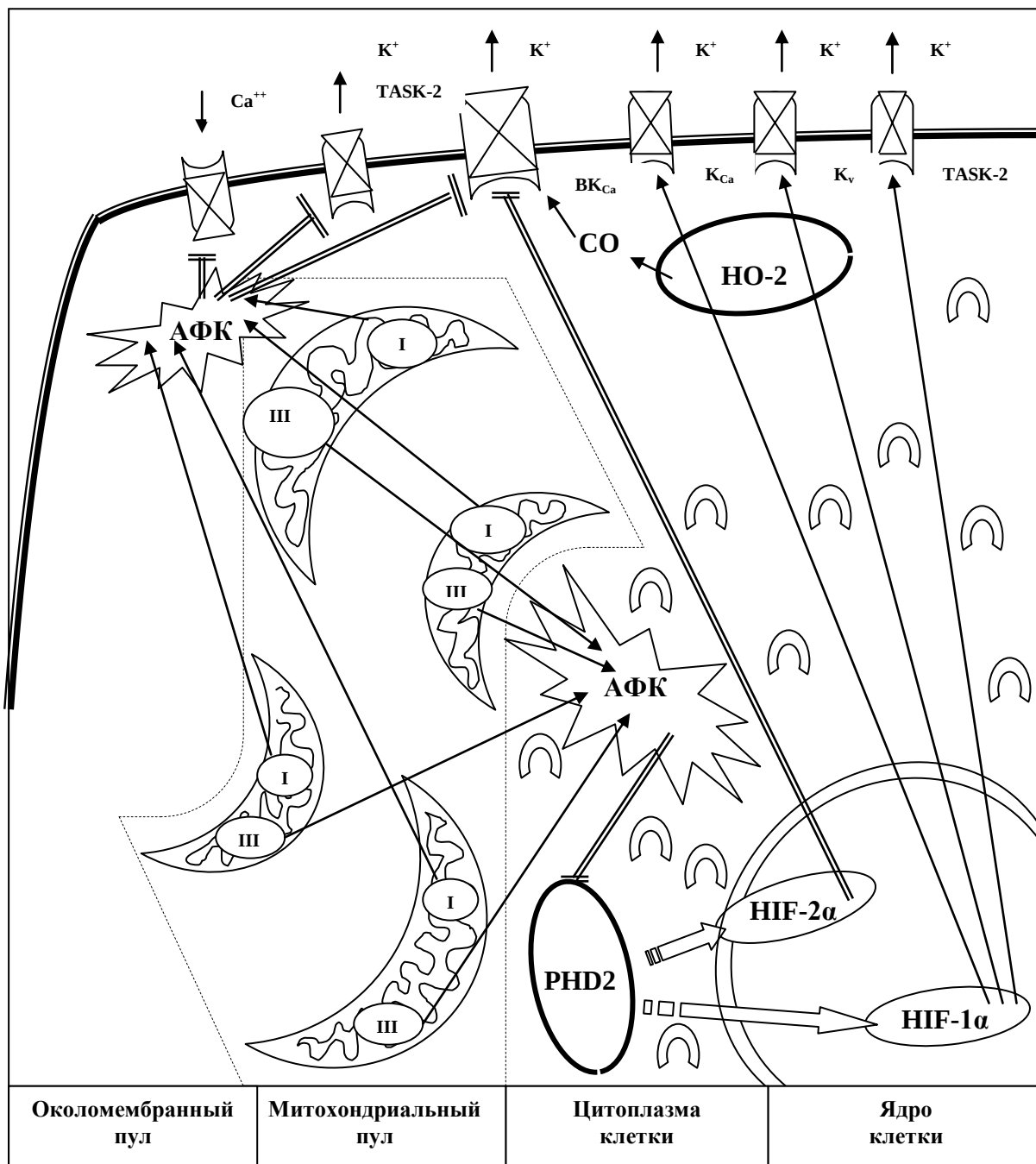


Рис. 1. Сигнальные отношения компонентов клеточного энергетического метаболизма:

$\otimes$ – мембранные ионные каналы;

$\cup$ – стрессовые белки;

$\textcircled{I}$ и $\textcircled{III}$ – ферментативные комплексы I и III в цепи

окислительного фосфорилирования митохондрий;

$PHD2$ – домен пролилгидроксилазы-2 (внутриклеточный сенсор на кислород);

$HO-2$ – домен гемоксигеназы-2 (внутриклеточный сенсор на кислород);

$\rightarrow$ – активация; $\parallel$ – супрессия

Метаболический кластер цитоплазматических процессов, в которых мастером-регулятором является HIF, представлен на рис. 1. АФК, продуцируемые на фоне нормоксии, выходят из митохондрий, перемещаются в цитоплазму и оказывают умеренное супрессирующее влияние на активность PND2 [41]. На фоне предъявления клетке гипоксического стимула этот процесс усиливается, что заметным образом тормозит протеолитическую деградацию HIF. Как следствие, разновидности α и β индуцированного гипоксией фактора перемещаются в ядро клетки. Запускается транскрипция семейства «гипоксических» генов. В течение суток формируется клеточный гипоксический ответ, что может служить руководством для выбора интервала времени между сеансами при проведении гипокситерапии [42].

В свою очередь метаболический HIF-пул через активацию «гипоксических» генов способен по принципу положительной обратной связи уменьшать прооксидантный потенциал путем регулирования активности ацетилкоэнзима-А [43, 44].

В условиях быстро развивающейся гипоксии ферментативный комплекс I цепи окислительного фосфорилирования митохондрий увеличивает продукцию молекул супероксид-анион-радикалов [45, 46]. А они ингибируют проводимость кальциевых каналов, встроенных в плазматические мембраны клеток [45]. Избыток молекул супероксид-анион-радикалов вблизи внутренней поверхности оболочки клетки блокирует проводимость калиевых каналов семейства TASK-2 [47]. Эта же причина ведет к закрытию кальцийзависимых калиевых каналов высокой проводимости $ВК_{Ca}$ [19]. Таким образом, побочные продукты процесса окислительного фосфорилирования – АФК – в условиях гипоксии способствуют деполяризации плазматической мембраны клетки за счет ингибирования нескольких семейств калиевых каналов.

Особенности изменений в мембраносвязанных микродоменах, объединяющих каналы и митохондрии, активно исследуются в настоящее время. Вместе с тем не меньший интерес у специалистов вызывают внутриклеточные сигнальные отношения чувствительных к гипоксии околосмембранных механиз-

мов и HIF-пула цитоплазмы клетки. Однако пока количество экспериментальных исследований в этой узкой области невелико. Нам не удалось найти ни одного обзора на эту тему.

Еще в 2006 г. появились данные о влиянии HIF-пула клеток культуры меланомы человека в ходе длительной гипоксии на увеличение проводимости кальцийзависимых калиевых каналов ($К_{Ca}$). Это происходило под действием избыточной экспрессии HIF-1 α в ответ на недостаток кислорода в среде культивирования [48]. Позднее аналогичный эффект был получен на культурах гладкомышечных клеток легочной артерии крыс для семейства потенциалзависимых калиевых каналов ($К_v$) [49] и WENI-231В-клеток мыши для TASK-2-калиевых каналов [50].

В доступной нам литературе имеются отдельные сведения о роли HIF-2 α в условиях хронической гипоксии. Этот сигнальный фактор блокирует активность генов, ответственных за синтез β_1 -субъединицы $ВК_{Ca}$, и тем самым обедняет вклад этих каналов в стабилизацию мембранного потенциала [51].

Данных о нисходящем влиянии околосмембранного кластера с участием калиевых каналов на HIF-пул цитоплазмы клеток найти не удалось. Отсутствие таких сведений объясняется многократной разницей скоростей реагирования ионных каналов (несколько секунд) и метаболических ответов в HIF-пуле (десятки минут) на гипоксический стимул. При таком сочетании лабильностей сравниваемых систем медленные процессы могут оказывать эффективное влияние на быстрые, но не наоборот.

Активация конститутивно присутствующих в цитоплазме стрессовых белков, прежде всего семейств HSP70 и HSP90, происходит на начальных этапах развития гипоксии. В ходе эскалации гипоксического состояния к конститутивным стрессовым белкам добавляются индуцибельные за счет экспрессии соответствующих генов. Последнее характерно для продолжительных гипоксических экспозиций, когда длительный курс интервальной гипоксии переходит в хронический формат.

Таким образом, на сегодняшний день можно выделить три точки приложения действия гипоксического стимула внутри клеток

Metazoa. Во-первых, это гемоксигеназа-2 (НО-2) в ассоциированном с плазматической мембраной комплексе белков, центральным эффекторным звеном которых являются калиевые каналы различных семейств. Данный комплекс обеспечивает реакции клетки на быстро развивающуюся гипоксию.

Во-вторых, это пролилгидроксилаза-2 (PHD2) – сенсор на кислород в пуле метаболических реакций, где мастером-регулятором является HIF. Этот комплекс обеспечивает реакции клетки на хроническое гипоксическое воздействие.

В-третьих, это хорошо изученный митохондриальный пул генерации активных форм кислорода и азота, который наряду с прооксидантным потенциалом имеет и регуляторную миссию. В гипоксических условиях этот пул оказывает модулирующие влияния на первые два кластера внутриклеточного энергетического метаболизма. АФК также тесно взаимодействуют с репарационным потенциалом стрессовых белков.

Эти три полюса энергетического метаболизма клетки тесно взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Литература

1. Малкин И.Б., Гиппенрейтер Е.Б. Острая и хроническая гипоксия. Т. 35. Москва: Наука; 1977. 319.
2. Колчинская А.З., Цыганова Т.Н., Остапенко Л.А. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте. Москва: Медицина; 2003. 406.
3. Lei Xi, Serebrovskaya T.V., eds. Intermittent Hypoxia. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc; 2009. 615.
4. Semenza G. Oxygen homeostasis. Wiley Interdiscip. Rev. Syst. Biol. Med. 2010; 2 (3): 336–361.
5. Lin F., Suggs S., Lin C., Browne J., Smalling R., Egrie J., Chen K., Fox G., Martin F., Stabinsky Z. Cloning and expression of the human erythropoietin gene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1985; 82 (22): 7580–7584.
6. Semenza G., Wang G. A nuclear factor induced by hypoxia via de novo protein synthesis binds to the human erythropoietin gene enhancer at a site required for transcriptional activation. Mol. Cell Biol. 1992; 12 (12): 5447–5454.
7. Bishop T., Ratcliffe P. Signaling hypoxia by hypoxia-inducible factor protein hydroxylases: a historical overview and future perspectives. Hypoxia (Auckl.). 2014; 2: 197–213.
8. Masson N., Willam C., Maxwell P., Pugh C., Ratcliffe P. Independent function of two destruction domains in hypoxia-inducible factor- α chains activated by prolyl hydroxylation. EMBO J. 2001; 20 (18): 5197–5206.
9. Анохина Е.Б., Буравкова Л.Б. Механизмы регуляции транскрипционного фактора при гипоксии (обзор). Биохимия. 2010; 75 (2): 185–195.
10. Samanta D., Prabhakar N., Semenza G. Systems biology of oxygen homeostasis. Wiley Interdiscip. Rev. Syst. Biol. Med. 2017; 9 (4): 1–15.
11. Semenza G. Dynamic regulation of stem cell specification and maintenance by hypoxia-inducible factors. Mol. Aspects Med. 2016; 47–48: 15–23.
12. Prabhakar N., Semenza G. Regulation of carotid body oxygen sensing by hypoxia-inducible factors. Pflugers Arch. 2016; 468 (1): 71–75.
13. Hirsilä M., Koivunen P., Günzler V., Kivirikko K., Myllyharju J. Characterization of the human prolyl 4-hydroxylases that modify the hypoxia-inducible factor. J. Biol. Chem. 2003; 278 (33): 30772–30780.
14. Maltepe E., Schmidt J., Baunoch D., Bradfield C., Simon M. Abnormal Angiogenesis and responses to glucose and oxygen deprivation in mice lacking the protein ARNT. Nature. 1997; 386 (6623): 403–407.
15. Townley-Tilson W., Pi X., Xie L. The Role of Oxygen Sensors, Hydroxylases, and HIF in Cardiac Function and Disease. Oxid. Med. Cell Longev. 2015; 2015: 676893.
16. Bell E., Chandel N. Mitochondrial Oxygen sensing: regulation of Hypoxia-inducible factor by mitochondrial generated reactive oxygen species. Essays Biochem. 2007; 43: 17–27.
17. Coleman M., Ratcliffe P.J. Oxygen sensing and Hypoxia-induced responses. Essays in Biochemistry. 2007; 43: 1–16.
18. Погодина М.В., Буравкова Л.Б. Особенности экспрессии HIF-1A в мультипотентных мезенхимных стромальных клетках при гипоксии (обзор). Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015; 159: 333–335.

19. Waypa G., Smith K., Schumacher P. O₂ sensing, mitochondria and ROS signaling: The fog is lifting. *Mol. Aspects Med.* 2016; 47–48: 76–89.
20. Lopez-Barneo J., Lopez-Lopez J., Urena J., Gonzalez C. Chemotransduction in the carotid body: K⁺ current modulated by PO₂ in type I chemoreceptor cells. *Science.* 1988; 241 (4865): 580–582.
21. Haddad G., Jiang C. O₂-sensing mechanisms in excitable cells: role of plasma membrane K⁺ channels. *Ann. Rev. Physiol.* 1997; 59: 23–42.
22. Prabhakar N., Peers C. Gasotransmitter regulation of ion channels: a key step in O₂ sensing by the carotid body. *Physiology (Bethesda).* 2014; 29 (1): 49–57.
23. Hoshi T., Lahiri S. Cell biology. Oxygen sensing: it's a gas! *Cell Biol.* 2004; 306 (5704): 2050–2051.
24. Kemp P., Peers C. Oxygen sensing by ion channels. *Essays Biochem.* 2007; 43: 77–90.
25. Peers C., Wyatt C., Evans A. Mechanisms for acute oxygen sensing in the carotid body. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* 2010; 174 (3): 292–298.
26. Williams S., Wootton P., Mason H., Bould J., Iles D., Riccardi D., Peers C., Kemp P. Hemoxygenase-2 is an oxygen sensor for a calcium-sensitive potassium channel. *Science.* 2004; 306 (5704): 2093–2097.
27. Hou S., Heinemann S., Hoshi T. Modulation of BKCa channel gating by endogenous signaling molecules. *Physiology (Bethesda).* 2009; 24: 26–35.
28. Peng Y., Nanduri J., Raghuraman G., Souvannakitti D., Gadalla M., Kumar G., Snyder S., Prabhakar N. H₂S mediates O₂ sensing in the carotid body. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2010; 107 (23): 10719–10724.
29. Li Q., Sun B., Wang X., Jin Z., Zhou Y., Dong L., Jiang L., Rong W. A crucial role for hydrogen sulfide in oxygen sensing via modulating large conductance calcium-activated potassium channels. *Antioxid. Redox Signal.* 2010; 12 (10): 1179–1189.
30. Li Y., Zheng H., Ding Y., Schultz H. Expression of neuronal nitric oxide synthase in rabbit carotid body glomus cells regulates large-conductance Ca₂₊-activated potassium currents. *J. Neurophysiol.* 2010; 103 (6): 3027–3033.
31. Lukyanova L.D., Dudchenko A.V., Germanova E.L. Mitochondrial signaling in formation of body resistance to hypoxia. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (Eds.), *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 391–417.
32. Sazontova T.G., Arkhipenko Y.V. Intermittent hypoxia in resistance of cardiac membrane structures: role of reactive oxygen species and redox signaling. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (Eds.), *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 113–150.
33. Manukhina E.B., Vanin A.F., Malyshev I.Yu. Intermittent hypoxia-Induced cardio- and vasoprotection: role of NO stores. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (eds.), *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 79–112.
34. Mansfield K., Guzy R., Pan Y., Young R., Cash T., Schumacker P., Simon M. Mitochondrial dysfunction resulting from loss of cytochrome c impairs cellular oxygen sensing and hypoxic HIF- α activation. *Cell Metab.* 2005; 1 (6): 393–399.
35. Guzy R., Mack M., Schumacker P. Mitochondrial complex III is required for hypoxia-induced ROS production and gene transcription in yeast. *Antioxid. Redox Signal.* 2007; 9 (9): 1317–1328.
36. Finkel T. Signal transduction by mitochondrial oxidants. *J. Biol. Chem.* 2012; 287 (7): 4434–4440.
37. Brand M. Mitochondrial generation of superoxide and hydrogen peroxide as the source of mitochondrial redox signaling. *Free Radic. Biol. Med.* 2016; 100: 14–31.
38. Ветош А.Н. Биологическое действие азота. Санкт-Петербург; 2003. 231.
39. Алексеева О.С., Ветош А.Н., Коржевский Д.Э., Косткин В.Б. Влияние кверцитина на развитие азотного наркоза и накопление белков теплового шока в клетках коры головного мозга крыс. *Доклады академии наук.* 2010; 430 (3): 421–423.
40. Zhong N., Zhang Y., Fang Q.Z., Zhou Z.N. Intermittent hypoxia exposure-induced heat-shock protein 70 expression increases resistance of rat heart to ischemic injury. *Acta Pharmacol. Sin.* 2000; 21 (5): 467–472.
41. Murphy M., Holmgren A., Larsson N., Halliwell B., Chang C., Kalyanaraman B., Rhee S., Thornalley P., Partridge L., Gem, D., Nyström T., Belousov V., Schumacker P., Winterbourn C. Unraveling the biological roles of reactive oxygen Species. *Cell Metab.* 2011; 13 (4): 361–366.
42. Semenza G. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. *Cell.* 2012; 148 (3): 399–408.
43. Ivan M., Kaelin Jr. The EGLN-HIF O₂-Sensing System: Multiple Inputs and Feedbacks. *Mol. Cell.* 2017; 66 (6): 772–779.

44. Kim J., Tchernyshyov I., Semenza G., Dang C. HIF-1-mediated expression of pyruvate dehydrogenase kinase: a metabolic switch required for cellular adaptation to hypoxia. *Cell Metab.* 2006; (3): 177–185.
45. McElroy G., Chandel N. Mitochondria control acute and chronic responses to hypoxia. *Exp. Cell Res.* 2017; 356 (2): 217–222.
46. Fernández-Agüera M., Gao L., González-Rodríguez P., Pintado C., Arias-Mayenco I., García-Flores P., García-Pergañeda A., Pascual A., Ortega-Sáenz P., López-Barneo J. Oxygen Sensing by Arterial Chemoreceptors Depends on Mitochondrial Complex I Signaling. *Cell Metab.* 2015; 22 (5): 825–837.
47. Ward J. Oxygen sensors in context. *Biochimica et Biophysica Acta.* 2008; 1777 (1): 1–14.
48. Tajima N., Schönherr K., Niedling S., Kaatz M., Kanno H., Schönherr R., Heinemann S. Ca^{2+} -activated K^{+} channels in human melanoma cells are up-regulated by hypoxia involving hypoxia-inducible factor-1- α and the von Hippel-Lindau protein. *J. Physiol.* 2006; 571 (Pt 2): 349–359.
49. Don Q., Zhao N., Xia C., Fu X., Du Y. Hypoxia induces voltage-gated K^{+} (Kv) channel expression in pulmonary arterial smooth muscle cells through hypoxia-inducible factor-1 (HIF-1). *Bosn. J. Basic. Med. Sci.* 2012; 12 (3): 158–163.
50. Shin D., Lin H., Zheng H., Kim K., Kim J., Chun Y., Park J., Nam J., Kim W., Zhang Y., Kim S. HIF-1 α -mediated upregulation of TASK-2 K^{+} channels augments Ca^{2+} signaling in mouse B cells under hypoxia. *J. Immunol.* 2014; 193 (10): 4924–4933.
51. Bautista L., Castro M., López-Barneo J., Castellano A. Hypoxia inducible Factor-2 α stabilization and maxi- K^{+} channel β 1-subunit gene repression by hypoxia in cardiac myocytes: role in preconditioning. *Circ. Res.* 2009; 10 (12): 1364–1372.

INTERACTION OF OXYGEN-SENSING MECHANISMS IN CELLS

A.N. Vetosh

*I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia;*

*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia;
North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia*

e-mail: vjotnn@yahoo.com

Reactions of the human body to chronic, acute or interval hypoxic hypoxia are different and may be triggered by certain intracellular molecular mechanisms. The authors analyzed PubMed database using the keywords "intracellular oxygen sensing" to verify the assumption. In 1977–2019, almost 1000 papers were published on the issue including more than 50 reviews. For their analysis, the authors chose articles on molecular oxygen sensing Metazoan tissue cells, mainly animals.

Cell responses to chronic hypoxia are determined by HIF-pool localized in the cytoplasm. Oxygen-sensing to acute hypoxia in cells is preconditioned by molecular mechanisms involving potassium channels of plasma cell membranes and associated juxtamembrane complexes. Molecular intracellular reactions to interval hypoxia are triggered by the prooxidant process activation in the mitochondria of cells. This review discusses the interactional characteristics of the three mechanisms of oxygen-sensing cells.

Keywords: oxygen, HIF, potassium channels of plasma membranes, mitochondria, ROS.

References

1. Malkin I.B., Gippenreyter E.B. *Ostraya i khronicheskaya gipoksiya* [Acute and chronic hypoxia]. Vol. 35. Moscow: Nauka; 1977. 319 (in Russian).
2. Kolchinskaya A.Z., Tsyganova T.N., Ostapenko L.A. *Normobaricheskaya interval'naya gipoksi-cheskaya trenirovka v meditsine i sporte* [Normobaric interval hypoxic training in medicine and sports]. Moscow: Meditsina; 2003. 406 (in Russian).
3. Lei Xi, Serebrovskaya T.V., eds. *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc; 2009. 615.
4. Semenza G. Oxygen homeostasis. *Wiley Interdiscip. Rev. Syst. Biol. Med.* 2010; 2 (3): 336–361.
5. Lin F., Suggs S., Lin C., Browne J., Smalling R., Egrie J., Chen K., Fox G., Martin F., Stabinsky Z. Cloning and expression of the human erythropoietin gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1985; 82 (22): 7580–7584.

6. Semenza G., Wang G. A nuclear factor induced by hypoxia via de novo protein synthesis binds to the human erythropoietin gene enhancer at a site required for transcriptional activation. *Mol. Cell Biol.* 1992; 12 (12): 5447–5454.
7. Bishop T., Ratcliffe P. Signaling hypoxia by hypoxia-inducible factor protein hydroxylases: a historical overview and future perspectives. *Hypoxia (Auckl.)*. 2014; 2: 197–213.
8. Masson N., Willam C., Maxwell P., Pugh C., Ratcliffe P. Independent function of two destruction domains in hypoxia-inducible factor- α chains activated by prolyl hydroxylation. *EMBO J.* 2001; 20 (18): 5197–5206.
9. Anokhina E.B., Buravkova L.B. Mekhanizmy regulatsii transkriptsionnogo faktora pri gipoksii (obzor) [Transcription factor regulation mechanisms under hypoxia (review)]. *Biokhimiya*. 2010; 75 (2): 185–195 (in Russian).
10. Samanta D., Prabhakar N., Semenza G. Systems biology of oxygen homeostasis. *Wiley Interdiscip. Rev. Syst. Biol. Med.* 2017; 9 (4): 1–15.
11. Semenza G. Dynamic regulation of stem cell specification and maintenance by hypoxia-inducible factors. *Mol. Aspects Med.* 2016; 47–48: 15–23.
12. Prabhakar N., Semenza G. Regulation of carotid body oxygen sensing by hypoxia-inducible factors. *Pflugers Arch.* 2016; 468 (1): 71–75.
13. Hirsilä M., Koivunen P., Günzler V., Kivirikko K., Myllyharju J. Characterization of the human prolyl 4-hydroxylases that modify the hypoxia-inducible factor. *J. Biol. Chem.* 2003; 278 (33): 30772–30780.
14. Maltepe E., Schmidt J., Baunoch D., Bradfield C., Simon M. Abnormal Angiogenesis and responses to glucose and oxygen deprivation in mice lacking the protein ARNT. *Nature*. 1997; 386 (6623): 403–407.
15. Townley-Tilson W., Pi X., Xie L. The Role of Oxygen Sensors, Hydroxylases, and HIF in Cardiac Function and Disease. *Oxid. Med. Cell Longev.* 2015; 2015: 676893.
16. Bell E., Chandel N. Mitochondrial Oxygen sensing: regulation of Hypoxia-inducible factor by mitochondrial generated reactive oxygen species. *Essays Biochem.* 2007; 43: 17–27.
17. Coleman M., Ratcliffe P.J. Oxygen sensing and Hypoxia-induced responses. *Essays in Biochemistry*. 2007; 43: 1–16.
18. Pogodina M.V., Buravkova L.B. Osobennosti ekspressii HIF-1A v mul'tipotentnykh mezenkhimnykh stromal'nykh kletkakh pri gipoksii (obzor) [Expression of HIF-1 α in multipotent mesenchymal stromal cells under hypoxia (review)]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2015; 159: 333–335 (in Russian).
19. Waypa G., Smith K., Schumacher P. O₂ sensing, mitochondria and ROS signaling: The fog is lifting. *Mol. Aspects Med.* 2016; 47–48: 76–89.
20. Lopez-Barneo J., Lopez-Lopez J., Urena J., Gonzalez C. Chemotransduction in the carotid body: K⁺ current modulated by PO₂ in type I chemoreceptor cells. *Science*. 1988; 241 (4865): 580–582.
21. Haddad G., Jiang C. O₂-sensing mechanisms in excitable cells: role of plasma membrane K⁺ channels. *Ann. Rev. Physiol.* 1997; 59: 23–42.
22. Prabhakar N., Peers C. Gasotransmitter regulation of ion channels: a key step in O₂ sensing by the carotid body. *Physiology (Bethesda)*. 2014; 29 (1): 49–57.
23. Hoshi T., Lahiri S. Cell biology. Oxygen sensing: it's a gas! *Cell Biol.* 2004; 306 (5704): 2050–2051.
24. Kemp P., Peers C. Oxygen sensing by ion channels. *Essays Biochem.* 2007; 43: 77–90.
25. Peers C., Wyatt C., Evans A. Mechanisms for acute oxygen sensing in the carotid body. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2010; 174 (3): 292–298.
26. Williams S., Wootton P., Mason H., Bould J., Iles D., Riccardi D., Peers C., Kemp P. Hemoxygenase-2 is an oxygen sensor for a calcium-sensitive potassium channel. *Science*. 2004; 306 (5704): 2093–2097.
27. Hou S., Heinemann S., Hoshi T. Modulation of BKCa channel gating by endogenous signaling molecules. *Physiology (Bethesda)*. 2009; 24: 26–35.
28. Peng Y., Nanduri J., Raghuraman G., Souvannakitti D., Gadalla M., Kumar G., Snyder S., Prabhakar N. H₂S mediates O₂ sensing in the carotid body. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010; 107 (23): 10719–10724.
29. Li Q., Sun B., Wang X., Jin Z., Zhou Y., Dong L., Jiang L., Rong W. A crucial role for hydrogen sulfide in oxygen sensing via modulating large conductance calcium-activated potassium channels. *Antioxid. Redox Signal.* 2010; 12 (10): 1179–1189.
30. Li Y., Zheng H., Ding Y., Schultz H. Expression of neuronal nitric oxide synthase in rabbit carotid body glomus cells regulates large-conductance Ca₂₊-activated potassium currents. *J. Neurophysiol.* 2010; 103 (6): 3027–3033.

31. Lukyanova L.D., Dudchenko A.V., Germanova E.L. Mitochondrial signaling in formation of body resistance to hypoxia. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (Eds.). *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 391–417.
32. Sazontova T.G., Arkhipenko Y.V. Intermittent hypoxia in resistance of cardiac membrane structures: role of reactive oxygen species and redox signaling. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (Eds.). *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 113–150.
33. Manukhina E.B., Vanin A.F., Malyshev I.Yu. Intermittent hypoxia-Induced cardio- and vasoprotection: role of NO stores. In: Lei Xi, Serebrovskaya T.V. (eds.). *Intermittent Hypoxia*. N.Y.: Nova Science Publishers, Inc.; 2009: 79–112.
34. Mansfield K., Guzy R., Pan Y., Young R., Cash T., Schumacker P., Simon M. Mitochondrial dysfunction resulting from loss of cytochrome c impairs cellular oxygen sensing and hypoxic HIF- α activation. *Cell Metab.* 2005; 1 (6): 393–399.
35. Guzy R., Mack M., Schumacker P. Mitochondrial complex III is required for hypoxia-induced ROS production and gene transcription in yeast. *Antioxid. Redox Signal.* 2007; 9 (9): 1317–1328.
36. Finkel T. Signal transduction by mitochondrial oxidants. *J. Biol. Chem.* 2012; 287 (7): 4434–4440.
37. Brand M. Mitochondrial generation of superoxide and hydrogen peroxide as the source of mitochondrial redox signaling. *Free Radic. Biol. Med.* 2016; 100: 14–31.
38. Vetosh A.N. *Biologicheskoe deystvie azota* [Biological effects of nitrogen]. St. Petersburg; 2003. 231 (in Russian).
39. Alekseeva O.S., Vetosh A.N., Korzhevskiy D.E., Kostkin V.B. Vliyanie kvertsitina na razvitie azotnogo narkoza i nakoplenie belkov teplovogo shoka v kletkakh kory golovnogo mozga krys [Quercetin effects on nitrogen anesthesia development and accumulation of heat shock proteins in cerebral cortex cells in rats]. *Doklady akademii nauk.* 2010; 430 (3): 421–423 (in Russian).
40. Zhong N., Zhang Y., Fang Q.Z., Zhou Z.N. Intermittent hypoxia exposure-induced heat-shock protein 70 expression increases resistance of rat heart to ischemic injury. *Acta Pharmacol. Sin.* 2000; 21 (5): 467–472.
41. Murphy M., Holmgren A., Larsson N., Halliwell B., Chang C., Kalyanaraman B., Rhee S., Thornalley P., Partridge L., Gem, D., Nyström T., Belousov V., Schumacker P., Winterbourn C. Unraveling the biological roles of reactive oxygen Species. *Cell Metab.* 2011; 13 (4): 361–366.
42. Semenza G. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. *Cell.* 2012; 148 (3): 399–408.
43. Ivan M., Kaelin Jr. The EGLN-HIF O₂-Sensing System: Multiple Inputs and Feedbacks. *Mol. Cell.* 2017; 66 (6): 772–779.
44. Kim J., Tchernyshyov I., Semenza G., Dang C. HIF-1-mediated expression of pyruvate dehydrogenase kinase: a metabolic switch required for cellular adaptation to hypoxia. *Cell Metab.* 2006; (3): 177–185.
45. McElroy G., Chandel N. Mitochondria control acute and chronic responses to hypoxia. *Exp. Cell Res.* 2017; 356 (2): 217–222.
46. Fernández-Agüera M., Gao L., González-Rodríguez P., Pintado C., Arias-Mayenco I., García-Flores P., García-Pergañeda A., Pascual A., Ortega-Sáenz P., López-Barneo J. Oxygen Sensing by Arterial Chemoreceptors Depends on Mitochondrial Complex I Signaling. *Cell Metab.* 2015; 22 (5): 825–837.
47. Ward J. Oxygen sensors in context. *Biochimica et Biophysica Acta.* 2008; 1777 (1): 1–14.
48. Tajima N., Schönherr K., Niedling S., Kaatz M., Kanno H., Schönherr R., Heinemann S. Ca²⁺-activated K⁺ channels in human melanoma cells are up-regulated by hypoxia involving hypoxia-inducible factor-1- α and the von Hippel-Lindau protein. *J. Physiol.* 2006; 571 (Pt 2): 349–359.
49. Don Q., Zhao N., Xia C., Fu X., Du Y. Hypoxia induces voltage-gated K⁺ (Kv) channel expression in pulmonary arterial smooth muscle cells through hypoxia-inducible factor-1 (HIF-1). *Bosn. J. Basic. Med. Sci.* 2012; 12 (3): 158–163.
50. Shin D., Lin H., Zheng H., Kim K., Kim J., Chun Y., Park J., Nam J., Kim W., Zhang Y., Kim S. HIF-1 α -mediated upregulation of TASK-2 K⁺ channels augments Ca²⁺ signaling in mouse B cells under hypoxia. *J. Immunol.* 2014; 193 (10): 4924–4933.
51. Bautista L., Castro M., López-Barneo J., Castellano A. Hypoxia inducible Factor-2 α stabilization and maxi-K⁺ channel β 1-subunit gene repression by hypoxia in cardiac myocytes: role in preconditioning. *Circ. Res.* 2009; 10 (12): 1364–1372.

УДК 57.017.2:616.12-008.31

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-63-71

ВЛИЯНИЕ «БОС-ПУЛЬС»-ТРЕНИНГОВ НА ГИПОКСИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

Г.Н. Ануфриев^{1,2}, М.И. Зинченко²,
В.В. Гулятьева², Д.Ю. Урюмцев², С.Г. Кривошеков²

¹ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Россия;

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»,
г. Новосибирск, Россия

e-mail: miz@physiol.ru

Эффекты влияния тренировок с биологической обратной связью (БОС) достаточно подробно освещены в научной литературе, однако механизм их формирования и индивидуальные особенности возникающих реакций не до конца раскрыты.

Цель. Изучение косвенного влияния цикла БОС-тренингов по управлению артериальным пульсом на гипоксическую устойчивость и состояние ВНС у здоровых людей с учетом индивидуальных особенностей реагирования.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 28 девушек и 26 юношей от 19 до 23 лет, которые прошли 15-дневный БОС-тренинг. До и после тренинга проводилось измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС), длительности RR-интервалов, артериального давления, а также гипоксический стресс-тест.

Результаты. По показателям успешности БОС-тренингов добровольцы ретроспективно были подразделены на группы «снижающих ЧСС» (С) и «неснижающих» (Н). У всех девушек и Н-юношей было выявлено практически двукратное снижение количества низкорезистентных к гипоксии лиц с переходом их в группу средне- и высокорезистентных. У Н-девушек по сравнению с С-девушками количество высокорезистентных выросло сильнее ($p=0,06$). Сравнение резистентности между группами юношей показало также существенный прирост высокорезистентных в группе Н-юношей по сравнению с С-группой ($p=0,01$). БОС-тренинг у всей группы привел к устойчивому снижению АД, как систолического ($p<0,001$), так и диастолического ($p<0,03$).

Выводы. Приведенные результаты свидетельствуют об адаптивном снижении симпатической активации в покое и в ответ на физиологический (гипоксический) стресс. При этом выраженность тренировочного эффекта зависит от индивидуальных особенностей исходного состояния вегетативной нервной системы.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, частота сердечных сокращений, гипоксический стресс-тест, артериальное давление, вегетативная нервная система.

Введение. Как известно, стрессовая реакция в значительной степени реализуется через вегетативную нервную систему (ВНС). Однако избыточная или недостаточная реактивность может стать причиной дисфункциональных расстройств. Нарушения реактивности и равновесия ВНС проявляются, когда физиологические изменения, реализуемые в процессе борьбы или бегства, возникают при отсутствии реальной физической опасности [1, 2]. Для восстановления баланса реактивности ВНС с помощью снижения активности симпатической нервной системы или усиления активности парасимпатической активно применяются

технологии с биологической обратной связью (БОС) [3–5]. Эти технологии находят применение в лечении различных состояний, таких как головная боль напряжения, мигрень [6–8], нейрогенная дисфункция мочевого пузыря [9], синдром раздраженного кишечника [10, 11], нарушения сна [12], синдром хронической усталости [12], гипервентиляционный синдром и др. [14, 15]. В ряде работ установлено, что БОС формирует способность подавлять вегетативные физиологические реакции на отрицательные эмоциогенные раздражители [16–18].

Несмотря на то что управление ритмом сердца с помощью БОС изучено достаточно

хорошо, исследователями чаще всего описывается и оценивается прямой эффект адаптивного биоуправления на тренируемую функцию. Так как технология БОС несет в себе широкие возможности, а механизм управления сердечной деятельностью имеет сложную, многоуровневую организацию, возникает вопрос о влиянии БОС-тренировок на другие элементы вегетативного контроля. Иначе говоря, тренировка одних компонентов вегетативного управления, возможно, приводит к формированию других условных взаимосвязей элементов вегетативного контроля (косвенный эффект тренировок). Однако механизм формирования и индивидуальные особенности возникающих реакций не до конца раскрыты, что делает этот вопрос весьма актуальным.

Цель исследования. Изучение косвенного влияния цикла БОС-тренировок по управлению артериальным пульсом на гипоксическую устойчивость и состояние ВНС у здоровых людей с учетом индивидуальных особенностей реагирования.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 54 здоровых студента высшего учебного заведения: 28 девушек и 26 юношей. Возраст испытуемых составил от 19 до 23 лет.

До начала исследования проводились антропометрия (измерение роста-весовых показателей, расчет индекса массы тела (ИМТ)), психологическое тестирование с использованием: а) шкалы эмоциональной возбудимости [19], б) клинического опросника для выявления и оценки невротических состояний [20], в) теста по пяти факторам осознанности (FFMQ – Five Facet Mindfulness Questionnaire), адаптированного в России [21], г) опросника FCB-TI Я. Стреляу [22].

Исследование проходило в 3 этапа. На первом этапе в течение 3 дней в состоянии покоя проводилась 5-минутная запись частоты сердечных сокращений (ЧСС) и RR-интервалов с помощью прибора «БОС-пульс» с программным обеспечением BFB-test и Vira (НИИМББ, Россия). Затем проводилась гипоксическая стресс-проба (дыхание газовой смесью $10 \pm 0,2$ % O_2 в течение 10 мин) при помощи гипоксикатора «Тибет-4» (разработ-

ка на базе НИИФФМ, патент РФ № 24098 от 27.07.2002), датчика ДК-21 и анализатора кислорода ПГК-06-25P1 (ЗАО «Инософт», Россия). Фиксировались в исходном состоянии и далее через каждые 30 с систолическое (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД) (механическим тонометром со встроенным фонендоскопом CS-105 (ООО «СиЭс Медика», Россия), ЧСС и длительность RR-интервалов, содержание кислорода во вдыхаемой смеси (O_2 , %); через каждые 15 с определялась сатурация кислорода в крови (SpO_2 , %), измеряемая пульсоксиметром Armed YX302 (ООО «Медимпорт», Россия). ЧСС записывалась 5 мин в исходном состоянии, последние 5 мин гипоксии и первые 5 мин фазы восстановления.

На втором этапе испытуемые проходили курс функционального управления с использованием БОС, включающий в себя 15 ежедневных тренировочных занятий. Каждая тренировка состояла из регистрации исходного состояния (5-минутная запись ЧСС и RR-интервалов) и 4 игр по 5 мин каждая, общей длительностью 25–30 мин. Испытуемые обучались на компьютеризированном комплексе «БОС-пульс» с помощью игры Vira, в которой нужно было победить соперника, осознанно уменьшая ЧСС, достигая большего расслабления в т.ч. с помощью медленного спокойного дыхания (водолаз игрока должен погружаться быстрее соперника, а скорость погружения зависит от ЧСС игрока: чем ниже ЧСС, тем быстрее движется водолаз) [6, 23].

На третьем этапе проводилась повторная гипоксическая стресс-проба, а также в течение 3 последующих дней проводилась фоновая 5-минутная запись ЧСС и RR-интервалов в состоянии покоя при нормоксии.

В работе использовались следующие статистические методы. Для непараметрического сравнения выбран U-тест Манна–Уитни. Частоты встречаемости сравнивали по одностороннему χ^2 -критерию. Для сравнения двух нормально распределенных выборок использовали t-критерий Стьюдента для зависимых и независимых переменных.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИФФМ, проведено без

риска для здоровья обследуемых, в соответствии с Хельсинкской декларацией.

В настоящем сообщении приводятся результаты, касающиеся только динамики физиологических реакций.

Результаты и обсуждение. По показателям успешности БОС-тренингов добровольцы ретроспективно были подразделены на группы «снижающих» ЧСС (С) и «неснижающих» (Н). Успешность определялась как среднее арифметическое «успешностей» каждого тренинга на основе длительности RR-интервалов [23].

Группы девушек состояли из 20 и 8 чел. соответственно и имели различия по результатам психологических тестов. С-девушки отличались достоверно более низким уровнем тревоги ($p=0,018$), общей эмоциональности ($p=0,012$), эмоциональной возбудимости ($p=0,030$), высоким баллом безоценочного отношения к своему опыту ($p=0,037$). Также выявлены на уровне тенденции меньшие значения эмоциональной реактивности ($p=0,065$) и большие – контроля над эмоциями ($p=0,069$). Таким образом, можно предположить, что девушки Н-группы более склонны к нейротизму, повышенной тревожности и самоосуждению.

У юношей С-группа состояла из 15 чел., Н-группа – из 11. С-группа отличалась достоверно более высокой фобией ($p=0,042$) и низким контролем эмоций ($p=0,028$), но при этом высоким баллом нереагирования ($p=0,036$). Также выявлена тенденция к более высокой истерии у лиц этой группы ($p=0,082$). Данные результаты не совпадают с таковыми у девушек, а в некоторых тестах они диаметрально противоположны.

Антропометрические методы позволили обнаружить достоверно ($p=0,002$) меньший ИМТ у С-девушек. По результатам других работ ИМТ отрицательно коррелирует с ЧСС и положительно – с личностной и ситуативной тревожностью [24, 25], что согласуется с данным исследованием. Не выявлено различий между группами юношей по этому показателю. Также был проведен анализ ЧСС по RR-интервалам исходно перед каждой тренировкой БОС. Результаты параметра «RR-средняя» всех испытуемых в рамках одного

тренировочного дня разделяли по принципу $M \pm 0,25S\%$: коридор средних значений – «Medium RR», низкие и высокие значения обозначались как «Low RR» и «High RR» соответственно. Распределение по RR-интервалам представлено на рис. 1. Результаты девушек достоверно различаются ($p=0,027$) по группам, у юношей достоверных различий не выявлено, но тенденция сохранена при уровне значимости $p=0,078$.

Таким образом, большинство испытуемых обоих полов в С-группах имели исходно более низкие значения длительности RR-интервалов, т.е. высокую ЧСС, и, напротив, Н-группа характеризовалась преимущественно высокими значениями RR и низкой ЧСС. Можно считать, что вегетативный баланс у испытуемых С-группы в значительной степени смещен в сторону симпатикотонии по сравнению с группой Н. В связи с этим результаты вполне закономерны, поскольку смысл тренировки заключался в произвольном снижении ЧСС, что гораздо легче сделать от высоких значений, нежели от низких. Данная картина позволяет заключить, что значимым параметром для успешности управления ритмом сердца является его исходная величина, зависящая от баланса активности отделов ВНС. Важно отметить, что значения ЧСС покоя до и после курса БОС-тренингов в группах не отличались ($p>0,1$), что свидетельствует о сохранении исходного баланса активности отделов ВНС в покое.

Также на первом этапе исследования была проведена оценка устойчивости к гипоксии: максимальное снижение SpO_2 до 86 % оценивалось как высокая гипоксическая резистентность и принималась за первый тип; SpO_2 в границах от 75 до 85 % оценивали как среднюю резистентность и относили ко второму типу; снижение сатурации ниже 75 % оценивали как низкую гипоксическую резистентность и относили к третьему типу.

При анализе распределения степени резистентности к гипоксии у всех испытуемых (табл. 1) было выявлено практически двукратное снижение количества низкорезистентных лиц у девушек и среднерезистентных – в группе Н-юношей, хотя статистически достоверными являются только измене-

ния в С-группе девушек, вероятно, по причине малой выборки С-группы, а у Н-юношей изменения носят характер тенденции. Между тем у Н-девушек количество высоко резистентных по сравнению с С-девушками выросло сильнее ($p=0,06$), что, вероятно, свя-

зано с более высоким уровнем парасимпатической активности ВНС у Н-группы, при котором создается резерв диапазона вариабельности сердечных сокращений, используемый для более адекватной компенсации при гипоксическом воздействии [26].

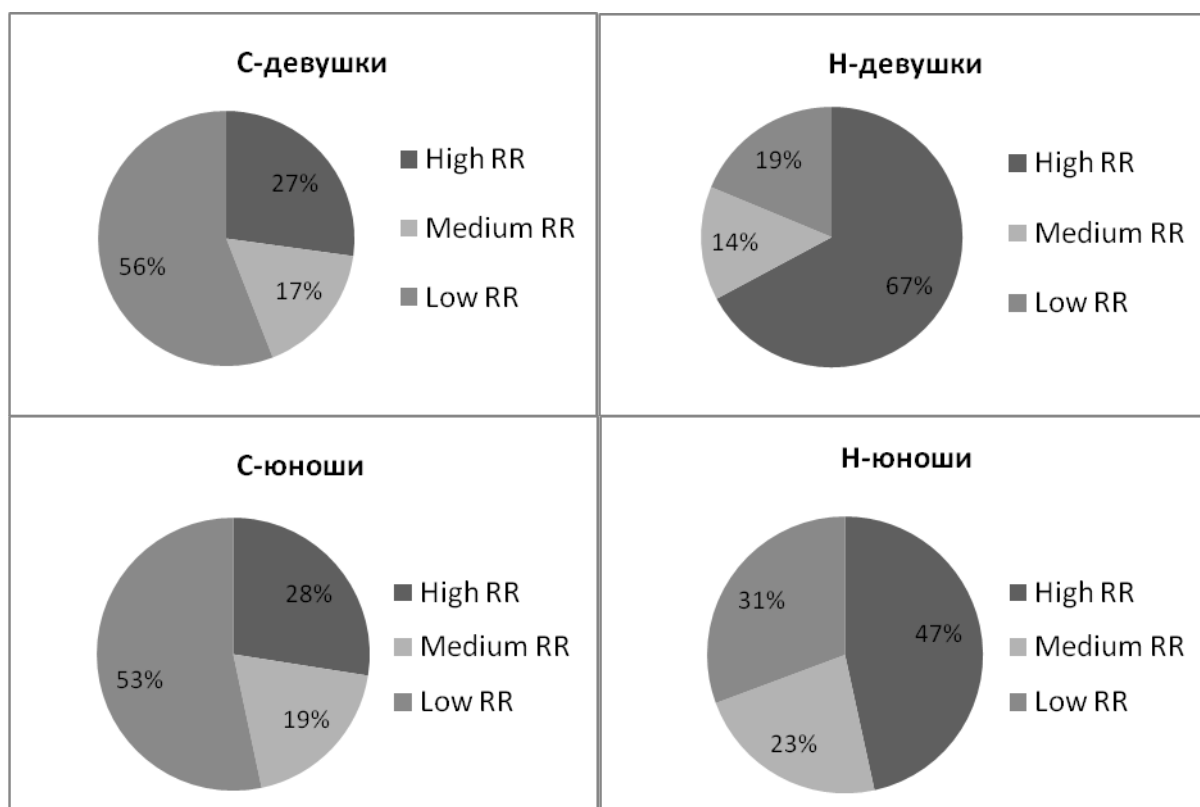


Рис. 1. Распределение в группах по исходной средней длительности интервалов RR

Таблица 1

Распределение в группах девушек и юношей по устойчивости к гипоксии, %

Группа	I тип резистентности		II тип резистентности		III тип резистентности	
	До БОС-тренинга	После БОС	До БОС-тренинга	После БОС	До БОС-тренинга	После БОС
С-девушки	5	10	30	55*	65	35*
Н-девушки	13	38**	25	25	63	38
С-юноши	47	47	53	53	-	-
Н-юноши»	36	64***	64	36***	-	-

Примечание. * – $p \leq 0,05$ по сравнению с состоянием до БОС-тренингов; ** – $p=0,06$ изменения до и после тренинга между группами С и Н; *** – $p=0,09$ – уровень тенденции по сравнению с состоянием до БОС-тренингов.

Повторная гипоксическая проба позволила констатировать отсутствие каких-либо изменений в группе С-юношей. Сравнение резистентности между группами юношей показало существенный прирост высокорезистентных в группе Н-юношей по сравнению с группой С-юношей ($p=0,01$).

Данный факт может указывать на увеличение резервных возможностей организма, проявляемых в условиях острого гипоксического стресса. Вероятно, БОС-тренинг приводит к изменениям в реактивности ВНС, что

подтверждается снижением реакции АД на гипоксию: в данном исследовании было выявлено, что БОС-тренинг во всей группе привел к устойчивому снижению как систолического, так и диастолического АД (табл. 2) в периоде восстановления после гипоксии. Можно было бы предположить, что первое значение АД (до тренинга и до гипоксического теста) было выше за счет эффекта новизны, показанного ранее [27], однако гипотензивное влияние БОС на АД проявлялось и после гипоксического теста.

Таблица 2

Влияние курса БОС-тренинга на АД перед гипоксией и на 5-й мин после гипоксии

Показатель	Перед гипоксией		После гипоксии	
	До БОС	После БОС	До БОС	После БОС
САД ($\pm$ SD), мм рт. ст.	118,5 (11,3)	114,1 (9,6)**	115,6 (11,5)	110,0 (9,8)**
ДАД ($\pm$ SD), мм рт. ст.	74,9 (9,5)	72,1 (8,9)*	75,6 (7,7)	73,1 (7,9)*

Примечание. * – $p<0,03$; ** – $p<0,001$; t-тест для зависимых переменных, сравнение до и после курса БОС.

Заключение. Известно, что сосудосуживающее действие симпатического возбуждения при гипоксии противостоит сосудорасширяющему воздействию локальной гипоксемии в большом круге кровообращения (в т.ч. адаптивной гиперемии в головном мозге), способствуя системной гипертензии и повышенному сосудистому сопротивлению [28]. Приведенные результаты свидетельствуют об адаптивных процессах ВНС: после гипоксического стресса симпатическая активация носит менее выраженный характер по сравнению с состоянием до БОС-тренингов.

В исследовании показано снижение у испытуемых АД в покое и в ответ на гипоксический стресс-тест (в периоде восстановления) после курса БОС-тренингов. На основании данных о снижении АД можно сделать вывод о повышении адаптационных возможностей ВНС в результате БОС-тренингов, что проявляется в снижении симпатической ак-

тивации после гипоксии, т.е. более быстрое восстановление, и в увеличении устойчивости к гипоксии по показателям сатурации крови кислородом.

Обнаруженное повышение адаптивности ответа на гипоксию под действием БОС-тренинга актуально, с одной стороны, для лиц, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а с другой – для здоровых лиц, занимающихся горными восхождениями, при авиаперелетах, в пожилом возрасте [29]. Биоправление ритмом сердца позволяет обучаться произвольному контролю ЧСС, корректирует работу ВНС, приводит к расширению адаптивных возможностей и адекватной реакции в условиях стресса. Особо стоит отметить, что у некоторых индивидуумов БОС-тренинг не оказывает влияния на реактивность ВНС, что, возможно, связано с их психофизиологическими характеристиками.

Литература

1. Морозов В.Н., Хадарцев А.А. К современной трактовке механизмов стресса. Вестник новых медицинских технологий. 2010; 17 (1): 15–17.

2. Кривошеков С.Г. Стресс, функциональные резервы и здоровье. Сибирский педагогический журнал. 2012; 9: 104–109.
3. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника-сервис; 2010. 594.
4. Кулик А.Л., Яблучанский Н.И. Биологическая обратная связь и современная клиническая практика. Вестник ХНУ имени Каразина. 2011; 975 (22): 82–93.
5. Демин Д.Б., Поскотникова Л.В. Физиологические основы методов функционального биоуправления. Экология человека. 2014; 9: 48–59.
6. Джафарова О.А., Фрицлер И.В., Шубина О.С. Биоуправление при лечении головных болей напряжения. В кн.: Штарк М.Б., Шварц М., ред. Биоуправление-4: Теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИС; 2002: 238–241.
7. Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Терemenцева Е.С. Эффективность БОС-терапии головной боли напряжения у пациентов с различными особенностями автономной нервной системы. Российский медицинский журнал. 2014; 2: 15–18.
8. Пузин М.Н., Кипарисова Е.С., Хоженко Е.В. Биоуправление и болевые расстройства. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2017; 20: 162.
9. Моисеев А.Б., Паршина О.Б., Кольбе О.Б. Лечение нейрогенных дисфункций мочевого пузыря у детей с использованием метода биологической обратной связи. Педиатрия. 2008; 87 (3): 41–45.
10. Трембач Г.А., Коротко Г.Ф. Использование адаптивного биоуправления с обратной связью в лечении синдрома раздраженного кишечника. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2009; 1: 67.
11. Stern M.J., Guiles R.A., Gevirtz R. HRV Biofeedback for pediatric irritable bowel syndrome and functional abdominal pain: a clinical replication series. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2014; 39 (3–4): 287–291.
12. Ebben M.R., Kurbatov V., Pollak C.P. Moderating laboratory adaptation with the use of a heart-rate variability biofeedback device (Stress Eraser). Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2009; 34 (4): 245–249.
13. Windthorst P., Mazurak N., Kuske M., Hipp A., Giel K.E., Enck P., Nieb A., Zipfel S., Teufel M. Heart rate variability biofeedback therapy and graded exercise training in management of chronic fatigue syndrome: An exploratory pilot study. J. Psychosom. Res. 2017; 93: 6–13.
14. Гришин О.В., Парамошкина Е.В., Зинченко М.И., Гришин В.Г., Устюжанинова Н.В. Психологический статус и дыхание у детей с психосоматической патологией. Бюллетень СО РАМН. 2009; 29 (6): 67–72.
15. Гришин О.В., Гуляева В.В., Зинченко М.И., Жилина И.Г., Урюмцев Д.Ю., Гришин В.Г., Барабаш Е.В. Применение респираторного биоуправления у больных ИБС после коронарного шунтирования: пилотное исследование. Сибирский научный медицинский журнал. 2017; 37 (2): 49–54.
16. Peira M., Fredrikson M., Pourtois G. Controlling the emotional heart: Heart rate biofeedback improves cardiac control during emotional reactions. Int. J. Psychophysiol. 2014; 91 (3): 225–231.
17. Francis H.M., Penglis K.M., McDonald S. Manipulation of heart rate variability can modify response to anger-inducing stimuli. Soc. Neurosci. 2015; 11 (5): 545–552.
18. Lin I.M., Fan S.Y., Lu H.C., Lin T.H., Chu C.S., Kuo H.F., Lee C.S., Lu Y.H. Randomized controlled trial of heart rate variability biofeedback in cardiac autonomic and hostility among patients with coronary artery disease. Behav. Res. Ther. 2015; 70: 38–46.
19. Рукавишников А.А., Соколова М.В. Шкала эмоциональной возбудимости. Ярославль: НПЦ «Психодиагностика»; 1996. 12.
20. Менделевич В.Д. Психология девиантного поведения: учебное пособие. СПб.: Речь; 2005. 445.
21. Юмартова Н.М. Осознанность (mindfulness). Психологические характеристики и инструменты измерения. Научные исследования выпускников факультета психологии СПбГУ. 2013; 1 (1): 267–273.
22. Strelau J., Zawadzki B. The Formal Characteristics of Behaviour -Temperament Inventory (FCB-TI): theoretical assumptions and scale construction. Eur. J. Pers. 1993; 7 (5): 313–320.
23. Лазарева О.Ю. Профилактика хронического стресса среди подростков с использованием игрового компьютерного биоуправления. В кн.: Штарк М.Б., Шварц М., ред. Биоуправление-4: Теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИС; 2002: 74–84.

24. Димитриев Д.А., Карпенко Ю.Д., Димитриев А.Д. Влияние индекса массы тела на вариабельность сердечного ритма у студентов в условиях относительного покоя и экзаменационного стресса. Социальные аспекты здоровья населения. 2012; 6 (28).
25. Драпкина О.М., Шепель Р.Н., Кабурова А.Н. Оценка субъективной ситуационной и личностной тревожности у лиц с избыточной массой тела. Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. 2017; 1 (1): 83–88.
26. Кривошеков С.Г., Некипелова Н.В., Балиоз Н.В. Индивидуально-типологические особенности системных реакций организма на гипоксическое воздействие в детском возрасте. Гуманитарные науки и образование в Сибири. 2014; 3 (15): 99–104.
27. Гришин О.В., Зинченко М.И., Гулятьева В.В., Урюмцев Д.Ю., Гришин В.Г. Артериальное давление в условиях внутривизитного измерения у нормотензивных добровольцев. Физиология человека. 2017; 43 (6): 71–79.
28. Dempsey J.A., Morgan B.J. Humans in hypoxia: A conspiracy of maladaptation?! Physiology. 2015; 30 (4): 304–316.
29. Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., Некипелова Н.В., Капилевич Л.В. Возрастные, гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие. Физиология человека. 2014; 40 (6): 34–45.

INFLUENCE OF BIOFEEDBACK-PULSE-TRAINING ON HYPOXIC STABILITY

G.N. Anufriev^{1,2}, M.I. Zinchenko², V.V. Gul'tyaeva²,
D.Yu. Uryumtsev², S.G. Krivoshechekov²

¹Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

²State Scientific-Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk, Russia

e-mail: miz@physiol.ru

The effects of biofeedback trainings (BFT) are sufficiently detailed in scientific literature. However, the mechanism of their formation and individual characteristics of the reactions are not fully disclosed.

The purpose of the paper is to study the indirect effect of biofeedback trainings aimed at managing arterial pulse on hypoxic stability and ANS state in healthy people, taking into account the individual characteristics of the response.

Materials and Methods. The study involved 28 young women and 26 young men (19–23 years old), who underwent a 15-day biofeedback training. The authors measured the trial subjects' heart rate (HR), duration of RR-intervals, blood pressure before and after the training. A hypoxic stress test was also carried out.

Results. According to the results of the biofeedback trainings, all the volunteers were retrospectively divided into two groups: "reducing heart rate" (R) and "non-reducing heart-rate" (N). All females and N males demonstrated an almost twofold decrease in the number of low-resistant-to-hypoxia persons with their transition into a group of medium- and high-resistant ones. N-girls, if compared with R-girls, showed a greater increase in the number of highly resistant persons ($p=0.06$). Resistance comparison between male groups also showed a significant increase in highly resistant persons in N-males, if compared to R-males ($p=0.01$). Biofeedback-training in all groups led to a steady blood pressure decrease (both systolic ($p<0.001$) and diastolic ($p<0.03$)).

Conclusion. The results obtained indicate an adaptive decrease in sympathetic activation at rest and in response to physiological (hypoxic) stress. Moreover, training effect intensity depends on the individual characteristics of the ANS initial state.

Keywords: biofeedback, heart rate, hypoxic stress test, blood pressure, autonomic nervous system.

References

1. Morozov V.N., Khadartsev A.A. K sovremennoy traktovke mekhanizmov stressa [Current interpretation of stress mechanisms]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010; 17 (1): 15–17 (in Russian).
2. Krivoshechekov S.G. Stress, funktsional'nye rezervy i zdorov'e [Stress, functional reserves and health]. Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal. 2012; 9: 104–109 (in Russian).

3. Soroko S.I., Trubachev V.V. *Neyrofiziologicheskie i psikhofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya* [Neurophysiological and psychophysiological foundations of adaptive biocontrol]. St. Petersburg: Politekhnik-servis; 2010. 594 (in Russian).
4. Kulik A.L., Yabluchanskiy N.I. Biologicheskaya obratnaya svyaz' i sovremennaya klinicheskaya praktika [Biofeedback and modern clinical practice]. *Vestnik KhNU imeni Karazina*. 2011; 975 (22): 82–93 (in Russian).
5. Demin D.B., Poskotnikova L.V. Fiziologicheskie osnovy metodov funktsional'nogo bioupravleniya [Physiological basis of functional biocontrol methods]. *Ekologiya cheloveka*. 2014; 9: 48–59 (in Russian).
6. Dzhafarova O.A., Fritsler I.V., Shubina O.S. Bioupravlenie pri lechenii golovnykh boley napryazheniya [Biofeedback in the treatment of tension headaches]. In the book: Shtark M.B., Shvarts M., ed. *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and Practice]. Novosibirsk: TsERIS; 2002: 238–241 (in Russian).
7. Sorokina N.D., Selitskiy G.V., Terementseva E.S. Effektivnost' BOS-terapii golovnoy boli napryazheniya u patsientov s razlichnymi osobennostyami avtonomnoy nervnoy sistemy [Efficacy of biofeedback therapy for tension headache in patients with various types of autonomic nervous system]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 2: 15–18 (in Russian).
8. Puzin M.N., Kiparisova E.S., Khozhenko E.V. Bioupravlenie i boleвыe rasstroystva [Biofeedback and pain disorders]. *Mediko-sotsial'naya ekspertiza i rehabilitatsiya*. 2017; 20: 162 (in Russian).
9. Moiseev A.B., Parshina O.B., Kol'be O.B. Lechenie neyrogennykh disfunktsiy mochevogo puzyrya u detey s ispol'zovaniem metoda biologicheskoy obratnoy svyazi [Treatment of neurogenic bladder dysfunctions in children with biological feedback method]. *Pediatrya*. 2008; 87 (3): 41–45 (in Russian).
10. Trembach G.A., Korot'ko G.F. Ispol'zovanie adaptivnogo bioupravleniya s obratnoy svyaz'yu v lechenii sindroma razdrazhennogo kishhechnika [Adaptive biofeedback in treatment of irritable bowel syndrome]. *Ekspertimetal'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*. 2009; 1: 67 (in Russian).
11. Stern M.J., Guiles R.A., Gevirtz R. HRV Biofeedback for pediatric irritable bowel syndrome and functional abdominal pain: a clinical replication series. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2014; 39 (3–4): 287–291.
12. Ebben M.R., Kurbatov V., Pollak C.P. Moderating laboratory adaptation with the use of a heart-rate variability biofeedback device (Stress Eraser). *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2009; 34 (4): 245–249.
13. Windthorst P., Mazurak N., Kuske M., Hipp A., Giel K.E., Enck P., Nieb A., Zipfel S., Teufel M. Heart rate variability biofeedback therapy and graded exercise training in management of chronic fatigue syndrome: An exploratory pilot study. *J. Psychosom. Res.* 2017; 93: 6–13.
14. Grishin O.V., Paramoshkina E.V., Zinchenko M.I., Grishin V.G., Ustyuzhaninova N.V. Psikhologicheskiy status i dykhanie u detey s psikhosomaticheskoy patologiyey [Psychological status and breathing in children with psychosomatic pathology]. *Byulleten' SO RAMN*. 2009; 29 (6): 67–72 (in Russian).
15. Grishin O.V., Gul'tyaeva V.V., Zinchenko M.I., Zhilina I.G., Uryumtsev D.Yu., Grishin V.G., Barabash E.V. Primenenie respiratornogo bioupravleniya u bol'nykh IBS posle koronarnogo shuntirovaniya: pilotnoe issledovanie [Respiratory biocontrol in patients with coronary artery disease after coronary bypass surgery: Pilot study]. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*. 2017; 37 (2): 49–54 (in Russian).
16. Peira M., Fredrikson M., Pourtois G. Controlling the emotional heart: Heart rate biofeedback improves cardiac control during emotional reactions. *Int. J. Psychophysiol.* 2014; 91 (3): 225–231.
17. Francis H.M., Penglis K.M., McDonald S. Manipulation of heart rate variability can modify response to anger-inducing stimuli. *Soc. Neurosci.* 2015; 11 (5): 545–552.
18. Lin I.M., Fan S.Y., Lu H.C., Lin T.H., Chu C.S., Kuo H.F., Lee C.S., Lu Y.H. Randomized controlled trial of heart rate variability biofeedback in cardiac autonomic and hostility among patients with coronary artery disease. *Behav. Res. Ther.* 2015; 70: 38–46.
19. Rukavishnikov A.A., Sokolova M.V. *Shkala emotsional'noy vozbudimosti* [Emotional excitability scale]. Yaroslavl: NPTs «Psikhodiagnostika»; 1996. 12 (in Russian).
20. Mendelevich V.D. *Psikhologiya deviantnogo povedeniya: uchebnoe posobie* [Psychology of deviant behavior: manual]. St. Petersburg: Rech'; 2005. 445 (in Russian).
21. Yumartova N.M. Osoznannost' (mindfulness). Psikhologicheskie kharakteristiki i instrumenty izmereniya [Mindfulness. Psychological characteristics and measurement tools]. *Nauchnye issledovaniya vypusknikov fakul'teta psikhologii SPbGU* [Scientific research of Psychology graduates, St. Petersburg State University]. 2013; 1 (1): 267–273 (in Russian).

22. Strelau J., Zawadzki B. The Formal Characteristics of Behaviour -Temperament Inventory (FCB-TI): theoretical assumptions and scale construction. *Eur. J. Pers.* 1993; 7 (5): 313–320.
23. Lazareva O.Yu. Profilaktika khronicheskogo stressa sredi podrostkov s ispol'zovaniem igrovogo komp'yuternogo bioupravleniya [Prevention of chronic stress among adolescents using in-game computer biofeedback]. In the book: Shtark M.B., Shvarts M., ed. *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and practice]. Novosibirsk: TsERIS; 2002: 74–84 (in Russian).
24. Dimitriev D.A., Karpenko Yu.D., Dimitriev A.D. Vliyanie indeksa massy tela na variabel'nost' serdechnogo ritma u studentov v usloviyakh otnositel'nogo pokoya i ekzamenatsionnogo stressa [Effect of body mass index on heart rate variability in students under relative rest and examination stress]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*. 2012; 6 (28) (in Russian).
25. Drapkina O.M., Shepel' R.N., Kaburova A.N. Otsenka sub'ektivnoy situatsionnoy i lichnostnoy trevozhnosti u lits s izbytochnoy massoy tela [Assessment of subjective, situational and personal anxiety in overweight individuals]. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski*. 2017; 1 (1): 83–88 (in Russian).
26. Krivoshchekov S.G., Nekipelova N.V., Balioz N.V. Individual'no-tipologicheskie osobennosti sistemnykh reaktsiy organizma na gipoksicheskoe vozdeystvie v detskom vozraste [Individual and typological characteristics of bodily reactions to hypoxic effects in childhood]. *Gumanitarnye nauki i obrazovanie v Sibiri*. 2014; 3 (15): 99–104 (in Russian).
27. Grishin O.V., Zinchenko M.I., Gul'tyaeva V.V., Uryumtsev D.Yu., Grishin V.G. Arterial'noe davlenie v usloviyakh vnutrivizitnogo izmereniya u normotenzivnykh dobrovol'tsev [Blood pressure measurements under within-visit conditions in normotensive volunteers]. *Fiziologiya cheloveka*. 2017; 43 (6): 71–79 (in Russian).
28. Dempsey J.A., Morgan B.J. Humans in hypoxia: A conspiracy of maladaptation?! *Physiology*. 2015; 30 (4): 304–316.
29. Krivoshchekov S.G., Balioz N.V., Nekipelova N.V., Kapilevich L.V. Vozrastnye, gendernye i individual'no-tipologicheskie osobennosti reagirovaniya na ostroe gipoksicheskoe vozdeystvie [Age, gender and individual typological characteristics of response to acute hypoxic effects]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40 (6): 34–45 (in Russian).

УДК 612.821

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-72-79

ЗНАЧЕНИЕ МОТИВАЦИИ В ПЕРЕНОСИМОСТИ УВЕЛИЧЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЫХАНИЮ

Ю.Ю. Бяловский, И.С. Ракитина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия

e-mail: b_uu@mail.ru

Большую роль в регуляции дыхания при увеличенном сопротивлении дыханию (резистивных нагрузках) играют кортикальные механизмы. Кортиковые механизмы определяют уровень произвольной мотивации, которая существенно влияет на переносимость резистивных дыхательных нагрузок.

Цель исследования – определение влияния произвольной мотивации на переносимость дополнительного респираторного сопротивления.

Материалы и методы. Процессуальную мотивацию формировали методом морального или материального поощрения испытуемых. Моделирование увеличенного сопротивления дыханию проводили с помощью предъявления возрастающих значений беспороговых инспираторных аэродинамических нагрузок: 40, 60, 70 и 80 % от максимального внутриротового давления.

Результаты. Максимальный уровень переносимости дополнительного респираторного сопротивления наблюдался у добровольцев, у которых была сформирована материально-субсидивная процессуальная мотивация деятельности; у этой категории испытуемых во время действия дыхательных нагрузок отмечались наибольшие отклонения показателей функционального состояния. Произвольная мотивация на основе мобилизации волевых ресурсов при моральном стимулировании характеризовалась меньшей эффективностью, а отсутствие специально сформированной процессуальной мотивации сопровождалось минимальной переносимостью резистивных нагрузок. Выводы. Процессуальная мотивация, сформированная для преодоления дополнительного респираторного сопротивления, существенно повышает переносимость средств индивидуальной защиты органов дыхания, что имеет большое значение для сохранения здоровья работающих в условиях загрязненной производственной среды.

Ключевые слова: мотивация, переносимость, увеличенное сопротивление дыханию.

Введение. Дополнительное респираторное сопротивление (ДРС) довольно часто сопровождает жизнедеятельность человека. Повышенное сопротивление воздухоносных путей характерно для бронхиальных обструкций, резистивные дыхательные нагрузки возникают при применении средств индивидуальной защиты органов дыхания в условиях загрязненной производственной среды и т.д. ДРС, вызывая утомление дыхательных мышц, приводит к снижению вентиляции легких и развитию гипоксии, которая существенно ограничивает работоспособность человека [1, 2].

Сегодня не вызывает сомнений ведущая роль произвольного (кортикального) управления дыханием в условиях ДРС. Подтверждением коркового контроля реакций на аэроди-

намическую нагрузку является отсутствие рефлекторного преодоления ДРС во время снижения тонуса коры больших полушарий (сон или наркоз) [3], а также гиповентиляторный тип реализации резистивных нагрузок у новорожденных [4]. Утверждение в качестве ведущего кортикального механизма переносимости ДРС имеет большое значение для повышения эффективности приспособления человека к условиям резистивного дыхания.

Цель исследования. Определение влияния произвольной мотивации на переносимость дополнительного респираторного сопротивления.

Задачи исследования: 1) определить влияние формирования процессуальной мотивации на переносимость ДРС; 2) установить ха-

рактар процессуальной мотивации, формирующей наибольшую переносимость ДРС; 3) изучить сдвиги функционального состояния организма во время преодоления ДРС у испытуемых с разным характером процессуальной мотивации.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие 124 практически здоровых добровольца обоего пола в возрасте от 18 до 23 лет. Работа проводилась с учетом требований Российского национального комитета по биоэтике. Способами формирования произвольной мотивации служили методы морального [5] и материального [6] поощрения испытуемых. Характер деятельности и мера поощрения в случае успеха (установка на исследование) формулировались участникам непосредственно перед исследованием. Согласно данной установке все добровольцы составили три группы. Наиболее «щадящий» характер имела установка для первой (контрольной) группы испытуемых (68 чел.): предстоящее исследование преподносилось как плановое обследование, и при малейшем появлении субъективного дискомфорта представители данной группы могли подавать стоп-сигнал для выключения резистивной нагрузки. У представителей второй группы (40 чел.) предстоящая деятельность позиционировалась как способ оценки волевых ресурсов. Испытуемым второй группы настоятельно предлагалось сконцентрировать волевые усилия на возможно более длительный период пребывания под ДРС, а в качестве морального поощрения во время преодоления резистора добровольцу поступали стимулирующие команды типа «молодец, ну давай еще немножко!». Остановка ДРС (подача испытуемым стоп-сигнала с помощью аварийной кнопки) осуществлялась на высоте максимального дискомфорта. Представители третьей группы (16 чел.) получали денежное вознаграждение за каждую дополнительную минуту пребывания в условиях ДРС от момента появления субъективного дискомфорта. Эффективность формируемого процессу-

ального мотива проверялась непосредственно перед началом исследования с помощью психологического теста мотивационной структуры предстоящей деятельности по В.К. Гербачевскому [7].

Увеличенное сопротивление дыханию было представлено резисторами величиной 40, 60, 70 и 80 % от максимального внутриротового давления ($P_{m_{max}}$). Выбор указанного набора дыхательных нагрузок не был случайным, а отражал критические зоны изовентиляторной перестройки дыхания [8]. Критерием переносимости ДРС являлось максимальное время (t_{max}), в течение которого испытуемые могли дышать с включенным аэродинамическим сопротивлением. Момент отключения аэродинамического сопротивления дыханию определялся самими добровольцами субъективно (нажатие кнопки стоп-сигнала) или экспериментатором при наличии существенных сдвигов газового состава легочного воздуха ($PACO_2 > 50$ мм рт. ст.; $PAO_2 < 80$ мм рт. ст. [8]).

В качестве физиологических показателей регистрировались: пневмотахограмма и интегрированная спирограмма, внутриротовое давление, окклюзионное внутрилегочное давление ($P_{0,1}$), концентрация O_2 и CO_2 альвеолярного воздуха, оксигеогамма периферической крови, интегрированная электромиограмма межреберных мышц и диафрагмы, интегральная реограмма тела, реопульмонограмма. После математической обработки физиологической информации просчитывались ключевые показатели: парциальное давление O_2 и CO_2 альвеолярного воздуха (PAO_2 , $PACO_2$), альвеолярная вентиляция (VA), работа дыхания (W), минутный объем кровообращения (МОК) и др.

Статистическая обработка результатов производилась при помощи пакета прикладных программ Statistica for Windows v. 10.0 фирмы StatSoft Inc.

Результаты. Результаты оценки мотивационной структуры по В.К. Гербачевскому [7] представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Оценка мотивационной структуры добровольцев
с разными установками на исследование, %**

Показатели мотивационной структуры	1-я группа	2-я группа	3-я группа	pd
ВМ	81,14±3,41	83,117±2,766	79,34±6,09	pd ₁₋₂ >0,05
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ >0,05
ПМ	75,0±2,10	93,29±1,559	84,04±4,67	pd ₁₋₂ <0,01
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ <0,05
СМ	71,0±3,77	85,17±2,88	74,4±4,13	pd ₁₋₂ <0,05
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ <0,05
МИ	80,85±1,98	63,058±1,75	77,50±2,81	pd ₁₋₂ <0,01
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ <0,05
НУМУ	70,0±1,39	84,0±1,88	79,3±2,06	pd ₁₋₂ <0,001
				pd ₁₋₃ <0,05
				pd ₂₋₃ >0,05
ЗР	47,14±3,19	64,55±2,17	52,4±3,08	pd ₁₋₂ <0,05
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ <0,05
СЗ	58,28±2,16	57,19±3,62	54,81±3,47	pd ₁₋₂ >0,05
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ >0,05
ВУ	57,14±2,05	70,031±3,50	59,39±4,25	pd ₁₋₂ <0,05
				pd ₁₋₃ >0,05
				pd ₂₋₃ <0,05
МСД	50,14±2,90	27,88±2,42	38,66±3,91	pd ₁₋₂ <0,001
				pd ₁₋₃ <0,05
				pd ₂₋₃ >0,05

Примечание. Обозначения шкал теста В.К. Гербаевского: ВМ – внутренний мотив, ПМ – познавательный мотив, СМ – состязательный мотив, МИ – мотив избегания, МСД – мотив смены деятельности, ЗР – значимость результатов, СЗ – сложность задания, ВУ – волевое усилие, НУМУ – намечаемый уровень мобилизации усилий.

Как следует из представленных данных, у добровольцев 2-й группы с мотивацией, сформированной на основе морального поощрения деятельности, в мотивационной структуре преобладали состязательный ($p < 0,05$) и познавательный ($p < 0,01$) мотивы со значительным намечаемым уровнем мобилизации усилий ($p < 0,001$). Кроме того, достоверные отличия от контрольной (первой) группы для представителей 2-й группы получены по таким элементам теста Гербачевского, как мотив избегания ($p < 0,01$), значимость результатов ($p < 0,05$), волевое усилие ($p < 0,05$), мотив смены деятельности ($p < 0,001$). Приведенные отличия мотивационной структуры представителей 2-й группы свидетельствуют об эффективности формируемого процессуального мотива по выраженности интроспективных оценок предстоящей деятельности.

Представители 3-й группы, которые материально стимулировались за дополнительное время пребывания в условиях ДРС, имели мотивационную структуру, отличавшуюся от контрольной группы только преобладанием мотива смены деятельности ($p < 0,05$) и намечаемого уровня мобилизации усилий ($p < 0,05$). Данное обстоятельство, по нашему мнению, характеризует специфический характер формирования компонентов мотивационной структуры в условиях материального стимулирования успешности деятельности.

В табл. 2 отчетливо видны различия физиологических показателей испытуемых с разным характером процессуального мотива. Эти различия касались прежде всего максимального времени пребывания в условиях резистивной нагрузки: испытуемые со сформированными процессуальными мотивами переносили все градации ДРС достоверно дольше, нежели испытуемые контрольной группы.

Так, максимальное время преодоления ДРС самой большой интенсивности (80 % $P_{m_{max}}$) у добровольцев с моральным поощрением почти в 4 раза превышало таковое у испытуемых контрольной группы. Этот же показатель у испытуемых с материальным сти-

мулированием успешности деятельности более чем в 5 раз превышал переносимость контрольной группы, что подтверждает значительные произвольные (волевые) ресурсы срочной адаптации к ДРС. С другой стороны, как следует из данных, представленных в табл. 2, увеличение переносимости резистивных нагрузок у лиц с высоким процессуальным мотивом сопровождалось значительным ростом физиологических трат. Наиболее выраженные отклонения физиологических параметров наблюдались среди показателей газообмена ($PACO_2$, PAO_2), вентиляции (V_t , W), кровообращения (ЧСС, МОК). Так, у добровольцев с процессуальным мотивом, сформированным на базе материального стимулирования деятельности, исследователю неоднократно приходилось экстренно выключать ДРС ввиду существенных сдвигов показателей газового гомеостаза.

Таким образом, в настоящем исследовании показано определяющее влияние процессуального мотива на переносимость испытуемыми интенсивных величин ДРС.

Обсуждение. В нашем исследовании отмечена диссоциация между интраспективными оценками процессуальных мотивов и показателями реальной деятельности испытуемых (переносимостью ДРС). Так, по данным теста Гербачевского, наибольший прирост деятельностных компонентов (т.е. эффективность) мотивации (состязательного и познавательного мотивов, уровня мобилизации усилий, значимости результатов предстоящей деятельности, уровня волевых усилий и др.) был характерен для испытуемых 2-й группы с мобилизацией волевых ресурсов на основе морального поощрения. Вместе с тем максимальная эффективность реальной деятельности (по критерию переносимости ДРС) отмечалась у испытуемых 3-й группы, т.е. у добровольцев с мотивацией материального стимулирования. По-видимому, этот парадокс носит чисто психологический характер: отмечено лучшее вербальное отражение аффилиативных мотивов, нежели материально-субсидивных, которые часто маскируются психологическими защитами [9].

Таблица 2

Физиологические показатели испытуемых с разным характером процессуального мотива в условиях ступенчатого изменения дополнительного респираторного сопротивления $R_{m, \max}$

Показатели	1-я группа				2-я группа				3-я группа			
	40 %	60 %	70 %	80 %	40 %	60 %	70 %	80 %	40 %	60 %	70 %	80 %
Переносимость, $t_{\max}$ с	227,2±30,1	90,2±14,0	37,8±4,68	17,0±5,85	346±18,9 *	212,2±10,14 **	127,8±34,44 **	74,66±10,81 **	357,8±13,48 *	311,6±18,4 **	237,0±16,59 **	98,2±11,23 **
PaO_2 , мм рт. ст.	40,67±0,24	41,3±0,20	42,3±0,28	42,8±0,65	43,2±0,66	44,6±0,95	45,68±0,87 *	46,55±1,73	43,55±0,70 *	46,51±1,23 *	48,65±1,12 *	49,54±1,48 *
PAO_2 , мм рт. ст.	95,25±0,38	95,0±0,79	93,0±1,79	93,1±0,64	92,95±1,61	90,22±2,53 *	87,55±2,61 *	83,73±2,99 *	90,68±1,30 *	85,6±2,91 *	80,1±1,53 *	77,88±2,78 **
f , мин ⁻¹	15,0±0,40	12,4±0,70	11,3±0,51	10,75±0,93	16,5±1,29	14,42±1,55	14,83±1,72	11,1±2,965	19,66±1,75	17,83±0,74 *	17,8±1,64 *	15,8±0,83 *
V_T , мл	468,2±37,5	794,7±34,8	641,3±75,1	548,0±13,73	440,2±66,8	576,4±58,5	497,1±92,4	369,6±23,25 *	411,6±37,6	378,5±15,57 *	294,2±24,63 *	295,6±42,8 *
W , кгс·м	0,31±0,02	0,41±0,01	0,81±0,08	1,36±0,13	0,55±0,03 *	0,974±0,10 **	1,638±0,251 **	2,866±0,39 **	0,59±0,06 *	1,01±0,09 **	1,87±0,21 **	2,65±0,24 **
$ЧС$, мин ⁻¹	71,7±1,65	73,8±2,31	74,1±3,12	81,75±2,95	71,0±3,65	86,6±2,94 *	84,0±1,78 *	87,82±2,71	75,66±5,75	88,5±3,13 *	95,8±3,27 *	96,0±6,32 *
$МОК$, л/мин	7,35±0,06	7,66±0,13	7,71±0,39	8,62±0,23	7,37±0,40	8,62±0,14	8,75±0,39	9,166±0,211	7,93±0,79	9,35±0,36 *	9,96±0,36 *	10,28±0,31 *

Примечание. Звездочками отмечены достоверные суждения о различиях с контрольной группой при: * – $pr < 0,05$; ** – $pr < 0,01$.

Более высокий уровень реальной эффективности субсидивного процессуального мотива подтверждается и характером изменений физиологических показателей в условиях ДРС. Наряду с интенсивными отклонениями показателей газового состава ($РАСО_2$, $РАО_2$), вентиляции (V_T , W), кровообращения (ЧСС, МОК) у добровольцев 3-й группы отмечались незначительные стенотические перестройки дыхательного рисунка, характерные для резистивных нагрузок. Так, у этих испытуемых отмечалась большая частота дыхательных движений (при меньшем уровне дыхательного объема), чем у представителей 1-й и 2-й групп, что создавало высокие скорости дыхательных потоков и, как следствие, большее неэластическое сопротивление воздухоносных путей. Такая неэкономичная перестройка дыхательного рисунка свидетельствует в пользу стенической стимуляции дыхания, по-видимому, за счет прямого кортикального управления. Тот факт, что в этих условиях добровольцы 3-й группы тем не менее демонстрировали наибольшую переносимость ДРС, свидетельствует о мобилизации значительных волевых ресурсов.

Говоря о физиологических механизмах влияния процессуальных мотивов на переносимость ДРС, следует указать на решающую роль высших отделов ЦНС, прежде всего коры больших полушарий. Как известно, кортикальное управление дыханием реализуется либо через бульбарный центральный дыхательный механизм (при этом задействованы стволовые и надстволовые структуры: парабрахиальные ядра моста, ядра гипоталамуса, базальные ядра, двигательные зоны коры), либо напрямую через структуры пирамидного тракта [10]. Поскольку основным нейрофизиологическим субстратом социальных мотиваций (к которым относятся рассматриваемые нами процессуальные мотивы) является кора больших полушарий, в качестве источника мотивационного возбуждения при преодолении ДРС в наших исследованиях выступали кортикальные структуры. Различная динамика стенотических перестроек дыхательного рисунка (оцениваемая по степени снижения частоты дыхания), отмеченная нами при разных процессуальных мотивах, по-

зволяет предполагать участие разных нейрофизиологических механизмов. По-видимому, кортикальное управление при процессуальном мотиве на основе морального поощрения реализуется преимущественно через супрапонтинные структуры центрального дыхательного регулятора. Этот тип мотива формирует выраженную стенотическую перестройку дыхания, что свидетельствует о включении как автономных (гетерометрическая регуляция диафрагмы), так и сегментарных (γ -активация дыхательной мускулатуры, угнетение инспираторно-возбуждающего рефлекса Геринга-Брейера) механизмов компенсации резистивной нагрузки, корректирующих работу центрального дыхательного регулятора. Кортикальное управление при материально-субсидивном мотиве даже на высоких значениях ДРС формирует тахипноетический дыхательный рисунок и, по-видимому, осуществляется преимущественно в обход центрального дыхательного регулятора, через структуры пирамидного тракта [11].

Таким образом, в настоящем исследовании показано определяющее влияние социального (процессуального) мотива на переносимость ДРС. Данный факт, во-первых, указывает на то, что физиологические механизмы срочной адаптации к резистивным нагрузкам обеспечивают удовлетворение социально детерминированных потребностей. Во-вторых, формирование эффективного процессуального мотива на преодоление ДРС может служить важным фактором, обеспечивающим профессиональную деятельность лиц, работающих со средствами индивидуальной защиты органов дыхания. В свою очередь, анализ адаптивной деятельности человека в условиях действия резистивных нагрузок необходимо проводить при обязательной стандартизации процессуального мотива.

Выводы:

1. Характер сформированного процессуального мотива определяет переносимость кратковременных интенсивных резистивных дыхательных нагрузок.

2. Добровольцы с материально-субсидивным процессуальным мотивом имеют максимальную переносимость дополнитель-

ного респираторного сопротивления; представители этой же группы показывают наибольшие физиологические траты во время реализации резистивных нагрузок.

3. Наибольшая эффективность мотивации по интраспективным оценкам психологического тестирования характерна для испытуемых с мобилизацией волевых ресурсов на основе морального поощрения, а макси-

мальная эффективность реальной деятельности – для добровольцев с мотивацией материального стимулирования.

4. Формирование эффективного процессуального мотива на преодоление резистивных нагрузок может служить важным фактором, обеспечивающим профессиональную деятельность лиц, работающих с увеличенным сопротивлением дыханию.

Литература

1. Александрова Н.П. Механизмы компенсаторных реакций дыхательной системы на инспираторные резистивные нагрузки: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург; 2003. 36.
2. Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Оценка устойчивости разных групп инспираторных мышц к утомлению при физической нагрузке на фоне моделируемой обструкции дыхательных путей. Физиология человека. 2014; 40 (6): 114–116.
3. Wiegand L., White D.P. Sleep and the ventilatory response to resistive loading. Y. Appl. Physiol. 2008; 57 (2): 1233–1247.
4. Павлова Т.В., Пилькевич Н.Б., Трофимова О.А. Патогенетическая роль отягощенного аллергологического анамнеза в развитии бронхитов у детей. Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2016; 2 (24): 73–78.
5. Наенко Н.И. Психическая напряженность. Москва; 1976. 111.
6. Тресков В.Г. Материалы по изучению безусловных и условных слюнных рефлексов у больных хроническим алкоголизмом. В кн.: Широкий В.Ф., ред. Проблема качества раздражения и нейрофизиология условного, безусловного рефлекса. Рязань; 1973: 46–50.
7. Гербачевский В.К. Оценка уровня притязаний. В кн.: Крылов А.А., ред. Практикум по экспериментальной и прикладной психологии. Ленинград; 1990: 38–43.
8. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Физиологические механизмы резистивного дыхания человека. Воронеж; 2018. 412.
9. Анастаси А. Психологическое тестирование. Москва; 2009. 638.
10. Меркулова Н.А., Инюшкин А.Н., Беляков В.И. Дыхательный центр и регуляция его деятельности супрабульбарными структурами. Самара; 2007. 236.
11. Сафонов В.А., Тарасова Н.А. Структурно-функциональная организация дыхательного центра. Физиология человека. 2006; 1: 118–131.

IMPORTANCE OF MOTIVATION IN TOLERABILITY OF INCREASED BREATHING RESISTANCE

Yu.Yu. Byalovskiy, I.S. Rakitina

Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov,
Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russia

e-mail: b_uu@mail.ru

Cortical mechanisms play an important role in breathing control under increased breathing resistance (resistive loads). Cortical mechanisms determine the level of voluntary motivation, which significantly affects the tolerance of resistive breathing loads.

The purpose of the paper is to determine the effect of voluntary motivation on the tolerance of additional breathing resistance.

Materials and Methods. The authors formed procedural motivation by means of moral encouragement or financial rewards of the subjects. Simulation of increased breathing resistance was performed using in-

creasing values of thresholdless inspiratory aerodynamic loads: 40, 60, 70, and 80 % from the maximum intraoral pressure.

Results. The maximum level of tolerance of additional breathing resistance was observed in volunteers with a material and subsidiary procedural motivation of activity. Under respiratory loads, these subjects demonstrated the greatest deviations of the functional state indicators. Undefined motivation based on the mobilization of goal-oriented resources with moral stimulation showed less efficiency. Lack of specially formed procedural motivation led to minimal tolerance of resistive loads.

Conclusion. Procedural motivation, aimed at overcoming additional breathing resistance, significantly increases the tolerance of individual protective means of respiratory organs, which maintains health of workers in a polluted technological environment.

Keywords: motivation, tolerance, increased breathing resistance.

References

1. Aleksandrova N.P. *Mekhanizmy kompensatornykh reaktsiy dykhatel'noy sistemy na inspiratornye rezistivnye nagruzki* [Mechanisms of respiratory system compensatory reactions to inspiratory resistive loads]: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. St. Petersburg; 2003. 36 (in Russian).
2. Segizbaeva M.O., Aleksandrova N.P. Otsenka ustoychivosti raznykh grupp inspiratornykh myshts k utomleniyu pri fizicheskoy nagruzke na fone modeliruemy obstruktsii dykhatel'nykh putey [Assessment of the resistance of various inspiratory muscles to fatigue under physical loads and simulated airway obstruction]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40 (6): 114–116 (in Russian).
3. Wiegand L., White D.P. Sleep and the ventilatory response to resistive loading. *Y. Appl. Physiol.* 2008; 57 (2): 1233–1247.
4. Pavlova T.V., Pil'kevich N.B., Trofimova O.A. Patogeneticheskaya rol' otyagoshchennogo allergologicheskogo anamneza v razvitii bronkhитov u detey [Pathogenetic role of aggravated allergic history in bronchitis development in children]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2016; 2 (24): 73–78 (in Russian).
5. Naenko N.I. *Psikhicheskaya napryazhennost'* [Mental tension]. Moscow; 1976. 111 (in Russian).
6. Treskov V.G. Materialy po izucheniyu bezusloynykh i usloynykh slyunnykh reflektsov u bol'nykh khronicheskim alkogolizmom [Study of unconditioned and conditioned salivary reflexes in patients with chronic alcoholism]. In the book: Shirokiy V.F., ed. *Problema kachestva razdrazheniya i neyrofiziologiya uslovnogo, bezuslovnogo refleksa* [Problem of irritation quality and neurophysiology of the conditioned and unconditioned reflexes]. Ryazan'; 1973: 46–50 (in Russian).
7. Gerbachevskiy V.K. Otsenka urovnya prityazaniy [Assessment of aspiration level]. In the book: Krylov A.A., ed. *Praktikum po eksperimental'noy i prikladnoy psikhologii* [Manual on experimental and applied psychology]. Leningrad; 1990: 38–43 (in Russian).
8. Byalovskiy Yu.Yu., Bulatetskiy S.V. *Fiziologicheskie mekhanizmy rezistivnogo dykhaniya cheloveka* [Physiological mechanisms of resistive breathing in humans]. Voronezh; 2018. 412 (in Russian).
9. Anastazi A. *Psikhologicheskoe testirovanie* [Psychological testing]. Moscow; 2009. 638 (in Russian).
10. Merkulova H.A., Inyushkin A.N., Belyakov V.I. *Dykhatel'nyy tsentr i regulyatsiya ego deyatel'nosti suprabul'barnymi strukturami* [Respiratory center and regulation of its activity by suprabulbar structures]. Samara; 2007. 236 (in Russian).
11. Safonov V.A., Tarasova H.A. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya dykhatel'nogo tsentra [Structural and functional organization of the respiratory center]. *Fiziologiya cheloveka*. 2006; 1: 118–131 (in Russian).

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 современное дыхательное снаряжение 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 ФНКИЦ 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 ($t_{200-400}$, ..., $t_{1800-2000}$), полосовые энергии ($A_{200-400}$, ..., $A_{1800-2000}$). Рассчитаны удельные полосовые энергии ($AR_{200-400}$, ..., $AR_{1800-2000}$), 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 ($ОФВ_1$), 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 $ОФВ_1$, $СОС_{25-75}$ ($p < 0,01$).

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 $\Delta ЖЕЛ$, $\Delta ФЖЕЛ$, $\Delta ОФВ_1$, $\Delta ОФВ_1 / ФЖЕЛ$, $\Delta СОС_{25-75}$, $\Delta ПОС_{выд}$. 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 (Ме; 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
$\Delta ЖЕЛ$, %	0,93; 0,00; 2,77	-1,01; -1,98; 2,69	0,198
$\Delta ФЖЕЛ$, %	-0,15; -0,55; 2,32	0,13; -0,58; 2,03	0,574
$\Delta ОФВ_1$, %	-2,87; -3,86; -0,65	1,32; -0,58; 2,03	0,006
$\Delta (ОФВ_1 / ФЖЕЛ)$, %	-2,96; -3,81; -1,84	0,47; -2,21; 2,43	0,021
$\Delta СОС_{25-75}$, %	-9,62; -12,66; -7,04	0,02; -6,33; 8,08	0,008
$\Delta ПОС_{выд}$, %	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: $ОФВ_1$, $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, $СОС_{25-75}$, 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 $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ $r=-0,48$, 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 $\Delta ОФВ_1/ФЖЕЛ$ (%) ($r=0,40$). 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, $T_{a \text{ исх}}$	После погружения, $T_{a \text{ пос}}$	В динамике, ΔT_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 бронходиляционной 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 длительного 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., Ала-ничев 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. Opre-delenie ustoychivosti vodolazov k dekompressionnomu gazoobrazovaniyu [Detection of the diver's resistance to decompression gas formation]. *Voenno-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]. *Voenno-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 ventilyatsionnuyu 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 шумов 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 efektov 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.

УДК 534.7

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-89-97

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОЛАЗОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДВОДНОГО ПОГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОВ, СВЯЗАННЫХ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ДЫХАНИЕМ*

А.Е. Костив, В.И. Коренбаум

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

e-mail: kostiv.anatoly@gmail.com

В нормальных условиях дыхание осуществляется рефлекторно, обеспечивая необходимое содержание кислорода и двуокиси углерода в организме человека. Однако повышенные уровни парциального давления кислорода, двуокиси углерода и азота при подводном погружении с учетом глубины погружения, уровня физической нагрузки, наличия задержек дыхания и изменения плотности вдыхаемого газа требуют от водолаза сознательного контроля над дыханием. Утрата контроля над дыханием может стать причиной панических состояний и/или потери сознания под водой. Цель работы – исследование возможности контроля физиологического состояния водолаза под водой по шумам дыхания *in situ*.

Материалы и методы. Разработан метод регистрации шумов дыхания водолаза-аквалангиста под водой, обеспечивающий определение ритма дыхания без нарушения целостности трактов дыхательного аппарата. Предложен способ разделения шумов вдоха и выдоха, который позволяет контролировать соотношение продолжительностей фаз дыхания. При оценке ритма дыхания применены методы анализа вариабельности частоты сердечных сокращений.

Результаты. В ходе натурных экспериментов показано, что при штатном погружении водолаза средний дыхательный ритм составил 9,3 дыхательного движения в минуту; отношение продолжительностей вдоха и выдоха – 1:2,5; вариабельность по среднеквадратическому отклонению – 1,4 с. В случае нахождения водолаза в нештатной ситуации средний дыхательный ритм составил 18 дыхательных циклов в минуту; соотношение продолжительностей фаз дыхания – 1:1,3; вариабельность – 1 с. Таким образом, у водолаза в нештатной ситуации дыхание участилось в 2 раза, выдох укоротился по отношению к вдоху, а ритм дыхания стал менее вариабельным. Следовательно, получаемые акустически физиологические параметры ритма дыхания, его вариабельности, соотношения фаз вдоха и выдоха могут служить индикаторами состояния водолаза.

Выводы. Разработанный метод позволяет, не нарушая целостности трактов дыхательного аппарата, измерить под водой параметры ритма дыхания водолаза и соотношение продолжительностей фаз вдоха и выдоха. Индикация физиологических параметров дыхания может быть реализована в декомпрессионном компьютере подводного пловца.

Ключевые слова: водолаз, мониторинг, шумы дыхания, ритм дыхания, дыхательный цикл, вариабельность, диктофон.

Введение. Контроль за физиологическим состоянием человека осуществляется по параметрам основных систем его организма, таких как нервная [1], сердечно-сосудистая [2], дыхательная. В ряде случаев выбирают несколько характерных параметров, определяющих состояние субъекта в целом.

В обычных условиях дыхание, как известно, осуществляется рефлекторно, обеспечивая необходимое содержание кислорода и двуокиси углерода в организме человека. Однако повышенные уровни парциального давления кислорода, двуокиси углерода и азота при подводном погружении с учетом глубины погружения, уровня физической нагрузки, наличия задержек дыхания [3] и изменения плотности вдыхаемого газа требуют от водолаза сознательного контроля над ды-

* Исследование выполнено в рамках нпр № 0271-2019-0010 по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

ханием. Утрата контроля над дыханием может стать причиной панических состояний и/или потери сознания под водой. Физиологические параметры дыхательной системы, традиционно учитываемые у водолаза, – это ритм дыхания, продолжительность фаз вдоха и выдоха, расход дыхательной смеси [4]. Ритм дыхания является показателем двигательной активности водолаза, за которым во время работы следит обеспечивающий персонал [5]. В условиях патологии особую диагностическую ценность приобретает значительное удлинение одной из фаз дыхания. Например, удлинение фазы вдоха происходит при возникновении препятствия в верхних отделах дыхательных путей (отек гортани, ларингоспазм, сдавливание трахеи) [6–9]. Вдох становится шумным и продолжительным. Значительное удлинение выдоха на фоне редкого дыхания характерно для сужения просвета мелких бронхов [10]. Показатель отношения продолжительностей вдоха (I) и выдоха (E) здорового человека на воздухе известен и лежит в пределах от 1,2 до 1,5, но для водолаза под водой численные значения этого показателя не детализированы, вероятно, из-за относительной сложности определения фаз дыхания. Во время тренировок водолазу может быть дана команда делать выдох в 2–3 раза длиннее вдоха, но проконтролировать правильное выполнение данной команды под водой может только сам водолаз. При наличии связи персонал на слух может и, как правило, контролирует частоту дыхания водолаза по шумам дыхания [5], подавая команды обратить внимание на ритм и продолжительность фаз. Самостоятельный контроль за фазами дыхания, который водолазу предлагается делать при отсутствии связи с обеспечивающим персоналом, требует от пловца большого внимания и не всегда возможен [11].

Цель исследования. Изучение возможности контроля физиологического состояния водолаза под водой по шумам дыхания *in situ*.

Материалы и методы. Основным источником шума при вдохе водолаза в дыхательном аппарате открытого цикла являются колебания давления турбулентного потока воздуха преимущественно в первой ступени

регулятора (редуктор высокого давления) дыхательного аппарата. Процесс выдоха сопровождается шумом создаваемых истечением пузырьков воздуха.

Регистрация шумов дыхания проводилась с помощью диктофона марки H1 (ZOOM Corporation, Япония). Использовался формат без сжатия PCM (WAV): разрядность квантования 24 бита, частота дискретизации 48 кГц. Низкочастотная фильтрация и автоматическая регулировка усиления были отключены. Запись велась на внешнюю память microSDHC card 32 Гб. В качестве чувствительного элемента использовался встроенный стереомикрофон диктофона. Диктофон оборудован входным регулируемым усилителем 0–39 дБ. Величина выставляемого коэффициента усиления подбиралась индивидуально. Диктофон помещался в герметичную эластичную трехслойную оболочку из латекса, заполненную воздухом, толщина каждого слоя оболочки 0,06–0,08 мм. Диктофон в оболочке размещался в районе яремной ямки и прижимался к телу водолаза костюмом. Материал водолазного костюма – пористый синтетический каучук (Neoprene) толщиной 5 мм, покрытый нейлоном. Костюм, обладая звукоизолирующими свойствами (по крайней мере 10 дБ [12]), отделяет оболочку диктофона от внешней среды. Латексная оболочка диктофона под мокрым костюмом водолаза выполняет функцию мембраны, чувствительной к звуковым колебаниям в окружающей среде. Колебания передаются на чувствительный элемент диктофона – микрофон через воздушное пространство внутри латексной оболочки. Микрофон с воздушным пузырем, образованным латексной оболочкой, в воде ведет себя как датчик колебательного смещения [13].

Определение продолжительностей фаз вдоха и выдоха у водолаза в дыхательном аппарате открытого цикла производится путем раздельной фильтрации зарегистрированного шумового сигнала, детектированием выделенных отфильтрованных сигналов, построением сглаженной огибающей продетектированного сигнала. Фазы дыхания выделяются по превышению уровня огибающей над фоном, а их продолжительность определяется

по величине интервала между начальным и конечным моментом времени вдоха или выдоха (рис. 1).

Ритм дыхания определяется по интервалам между вдохами или выдохами. Данный метод реализован в программе LabChart (ADInstruments, Новая Зеландия). Использо-

вались следующие инструменты этой программы: детектирование – Arithmetic, сглаживание сигналов – Smoothing, определение начала и окончания фаз дыхания – PeakAnalysis, выделение продолжительностей вдоха и выдоха водолаза – Data Pad, оценка вариабельности дыхательного ритма – HRV.



Рис. 1. Функциональная схема выделения фаз дыхания и ритма дыхания водолаза с дыхательным аппаратом открытого цикла

Обследованы два водолаза мужского пола, совершавших в рамках собственной программы учебной подготовки различные маневры под водой. При экспериментальной апробации метода болезненные процедуры не применялись. Максимальное время пребывания под водой – 45 мин. Снаряжение водолазов состояло из мокрого костюма и дыхательного аппарата с открытой схемой дыхания, работающего на сжатом воздухе, и выдохом в воду на базе регулятора давления Titan LX (AquaLung, Франция). Температура воды – 20–22 °С. Погружения выполнялись в одной и той же прибрежной акватории, в одинаковых акустической обстановке и погодных условиях.

Результаты и обсуждение. На рис. 2 представлены шумы, записанные при дыхании нормально чувствовавшего себя водолаза (канал 1, слева на право: выдох, вдох, выдох, вдох). Уровень сигнала выдоха больше, чем сигнала вдоха. Выдох начинается после различимой паузы. Выделенные полосовой фильтрацией шумы вдоха представлены на канале 2, шумы выдоха – на канале 3. После выдоха следует кратковременная пауза, которая скрывается шумом всплывающих пузырьков. Полоса частот, позволяющая обеспечить максимальное отношение «сигнал/шум» при

вдохе, зависит от типа регулятора [14, 15] и может варьировать в широких пределах, однако она всегда лежит выше 1 кГц. При выдохе полоса частот не зависит от модели регулятора и всегда лежит ниже 500 Гц. Так, для регулятора Titan LX шумы вдоха регистрируются наилучшим образом в полосе частот 10–11 кГц, тогда как шумы выдоха – в полосе частот до 500 Гц.

По фронту огибающей шумов дыхания в соответствующей полосе определяем моменты начала вдоха и выдоха, по спаду – моменты окончания и продолжительность фаз дыхания. Так, соотношение фаз вдоха и выдоха для данного фрагмента записи соответствует 1:2,5, продолжительность дыхательного цикла – 5,8 с, что эквивалентно дыхательному ритму 10,3 дыхательного движения в минуту.

По осциллограмме шумов (рис. 3, Channel 2) вычислена огибающая (рис. 3, Channel 4), по которой с помощью опции Cyclic Measurements программы LabChart (detection settings – Sine shape, Minimum peak height 1 Standard Deviation) определены дыхательные интервалы (рис. 3, Channel 4, белые метки вверх). Дыхательные интервалы преобразованы в частоту дыхательных циклов в процессе погружения, зависимость от времени, и показаны на нижнем графике (рис. 3, Channel 6).

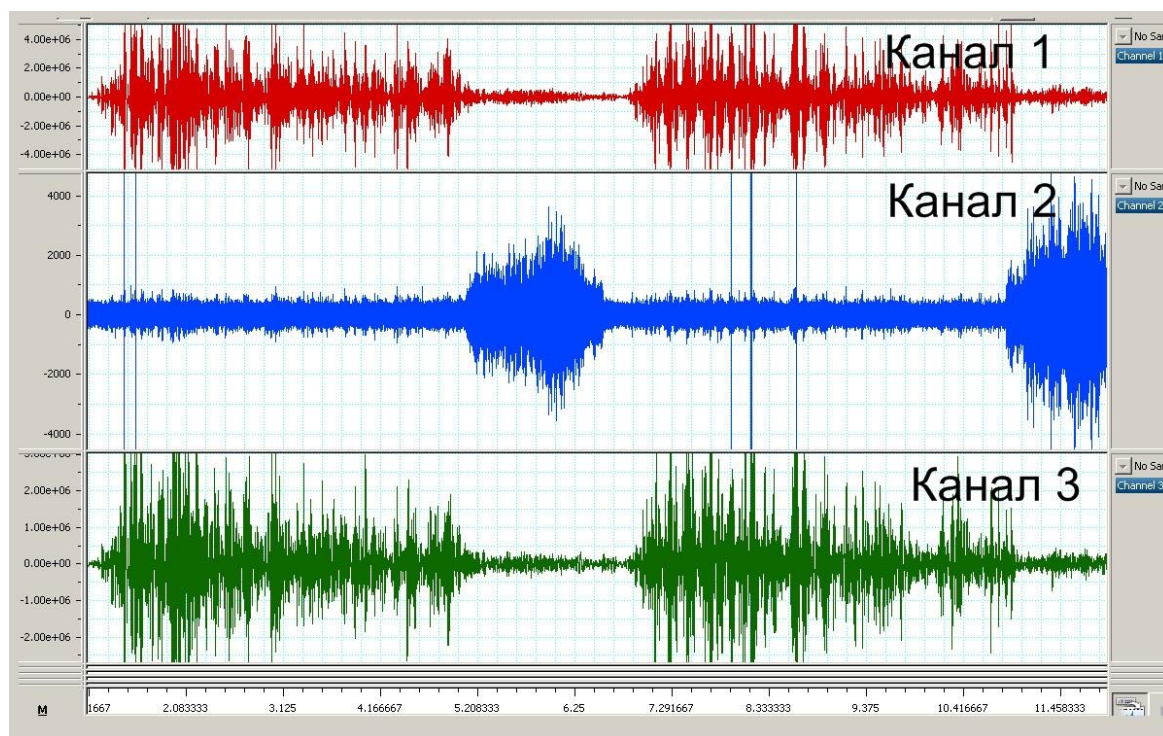


Рис. 2. Осциллограммы шумов при дыхании водолаза под водой.
Канал 1 – шумы двух циклов дыхания водолаза, канал 2 – шумы при вдохе,
канал 3 – шумы при выдохе.
По оси ординат – амплитуда, условные единицы, по абсцисс – время, с

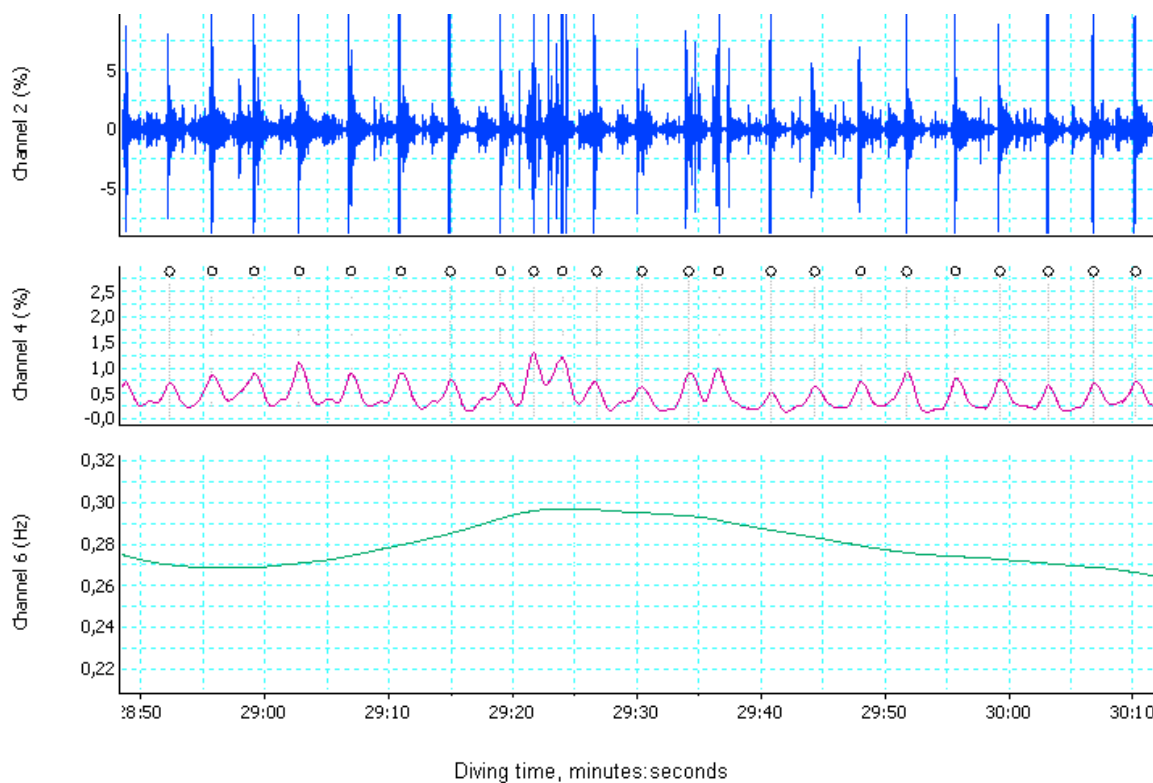


Рис. 3. Временные диаграммы шумов дыхания водолаза.
Channel 2 – осциллограмма шумов дыхания, Channel 4 – детектированный сигнал шумов дыхания,
белый кружок вверх – момент максимального значения сигнала,
Channel 6 – периодограмма дыхательных циклов.
По оси ординат в каналах 2 и 4 – процент от полной шкалы сигнала диктофона, в канале 6 – частота, Гц

Анализ variability сердечного ритма хорошо описан в литературе. В работе [16] этот метод переносится на анализ variability дыхательного ритма. Нами в качестве инструмента анализа variability дыхательного ритма использован модуль HRV программы LabChart. Для этого были оценены акустические характеристики дыха-

ния водолазов по 5-минутным фрагментам записи при штатных погружениях.

Пример анализа variability дыхательного ритма показан на рис. 4. На верхнем графике представлен сигнал шумов дыхания. График в середине – огибающая сигнала шумов дыхания, метки над графиком показывают интервалы между выдохами.

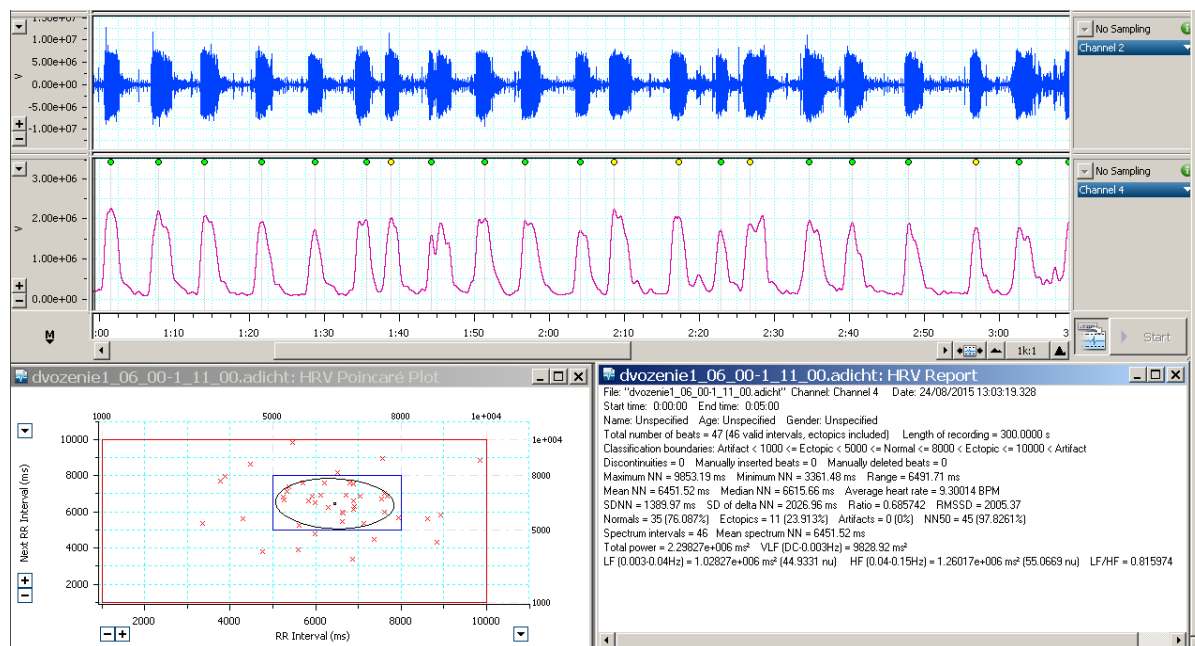


Рис. 4. Пример анализа variability дыхательного ритма штатного погружения водолаза. Верхний график – сигнал шумов дыхания; средний график – огибающая сигнала шумов дыхания; нижняя часть рисунка слева – диаграмма Пуанкаре; нижняя часть рисунка справа – отчет с параметрами variability дыхательного ритма

Нижний график слева – диаграмма Пуанкаре (Лоренца) [17], где область целевых значений обозначена малым прямоугольником, фактические значения – точками, область стандартного отклонения показана овалом, в центре которого – среднее значение продолжительности дыхательного цикла. Нижняя часть рисунка справа – отчет с параметрами variability дыхательного ритма. Основные измеренные параметры следующие. Продолжительность записи (Length of recording) – 300 с. Всего в этой записи (Total number of beats) – 47 выдохов. Нормальный ритм дыхания (Normal) имеет продолжительность дыхательного цикла (далее по тексту может быть использовано сокращение «цикл») от 5

до 8 с. Продолжительности дыхательного цикла менее 1 и более 10 с (Artifact) из анализа исключались. Максимальная продолжительность дыхательного цикла (Maximum NN) составила 9,8 с, минимальная (Minimum NN) – 3,3 с, что соответствует диапазону (Range) 6,5 с. Среднее значение цикла (Mean NN) составило 6,4 с, что соответствует 9,3 дыхательного движения в минуту (BPM). Медиана (Median NN) – 6,6 с. Среднеквадратичное отклонение всех циклов записи (SDNN) – 1,4 с. Среднеквадратичное отклонение разницы между соседними циклами (SD of delta NN) – 2 с. Отношение среднеквадратичных отклонений циклов всей записи и разницы соседних циклов (Ratio) – 0,68. Квадратный корень

из средних квадратов разницы между соседними циклами (RMSSD) – 2 с. 76 % циклов являются нормальными (Normals), 24 % периодов (Ectopics) не попали в целевой интервал, но и не являются артефактами (Artifact). Спектральные параметры (Spectrum intervals, mean spectrum NN, Total power, VLF, LF, HF, LF/HF) отчета и параметры (NN50), привязанные к нормам, выработанным для сердеч-

ного ритма, в настоящей работе не рассматривались.

Аналогичные оценки продолжительностей дыхательных циклов по шумам 5-минутного фрагмента записи получены для второго водолаза (рис. 5), оказавшегося в нештатных условиях, перед его экстренной эвакуацией из воды после поданного им сигнала тревоги.

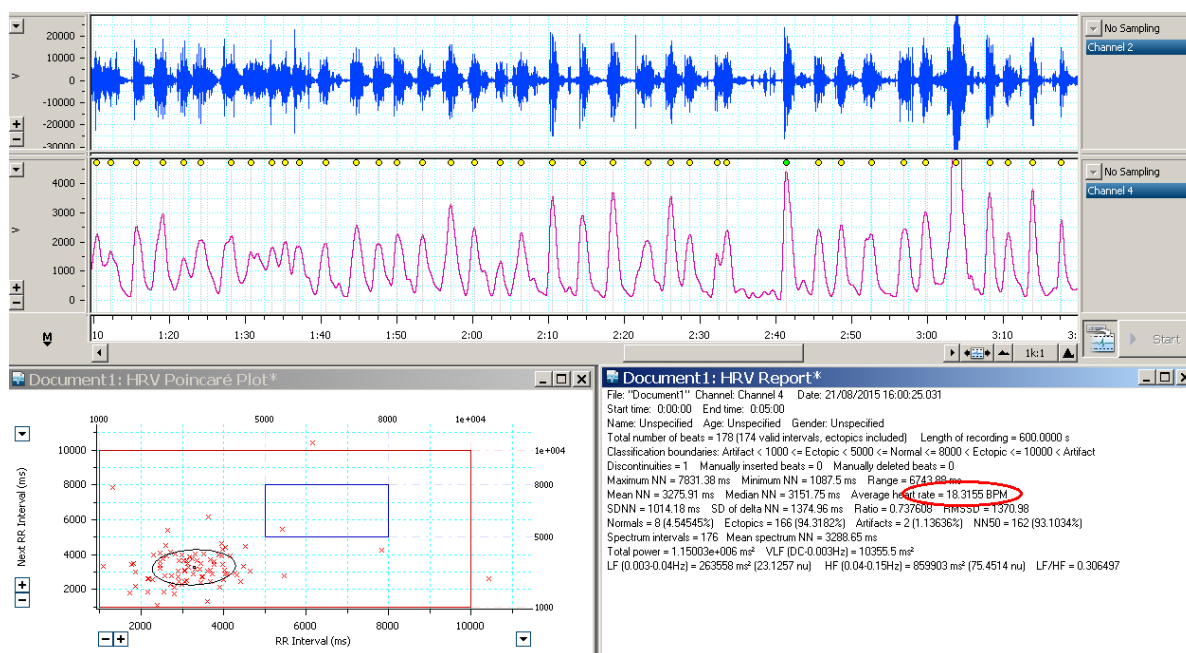


Рис. 5. Пример анализа variability дыхательного ритма водолаза перед экстренной эвакуацией.

Верхний график – сигнал шумов дыхания; средний график – огибающая сигнала шумов дыхания;
 нижняя часть рисунка слева – диаграмма Пуанкаре;
 нижняя часть рисунка справа – отчет с параметрами variability дыхательного ритма

Заметим, что некоторые параметры, приведенные в отчетах (рис. 4, 5), сильно коррелированы между собой, поэтому могут выбираться в зависимости от задачи. Так, для анализа variability дыхательного ритма, кроме среднего значения дыхательных движений в минуту (Average heart rate, BPM) и попадания его в целевой интервал (Normals), предлагается использовать: SDNN – оценку общей variability дыхательного ритма, RMSSD – оценку высокочастотных компонент variability и их отношение, позволяющее перейти к безразмерной величине, которая не будет зависеть от продолжительности записи.

Так, при штатном погружении первого водолаза дыхательный ритм составил 9,3 дыхательных движения в минуту, 75 % дыхательных циклов попали в целевой интервал, отношение вдоха к выдоху составило 1:2,5, variability – SDNN – 1,4 с, RMSSD – 2 с, Ratio – 0,68.

В случае второго водолаза дыхательный ритм составил 18 дыхательных циклов в минуту, только 4,6 % дыхательных циклов попали в целевой интервал, соотношение фаз дыхания составило 1:1,3, variability – SDNN – 1 с, RMSSD – 1,4 с, Ratio – 0,73. Таким образом, у второго водолаза в нештатной ситуации перед эвакуацией дыхание участи-

ось в два раза, выдох укоротился, а ритм дыхания по SDNN стал менее вариабельным.

Таким образом, разработанный метод позволяет, не нарушая целостности трактов дыхательного аппарата, измерить под водой параметры ритма дыхания водолаза и соотношение продолжительностей фаз вдоха и выдоха. Эти физиологические параметры могут быть использованы для мониторинга состояния водолаза во время пребывания под водой.

Тем не менее описанный метод применим только к водолажным аппаратам с открытым циклом дыхания. Использование метода требует удаления посторонних шумов, связанных с движением водолаза. Так, фрагменты записи с шумами трения слоев костюма, время от времени возникающими при движении водолаза, исключались из вышеописанного анализа.

Источник шумов вдоха в большинстве случаев находится за головой пловца (т.е. отделен от диктофона водной толщей). Шум пузырьков во время выдоха образуется непосредственно у рта пловца. Таким образом, шумы, возникающие при работе водолазного аппарата, могут проникать к диктофону как

по водной толще через костюм, так и через вторую ступень регулятора по трахее. Вклад каждой из этих составляющих и их спектральные особенности требуют дальнейшего изучения.

Метод не позволяет непосредственно измерять потоко-объемные характеристики дыхания водолаза и оценивать метаболизм. Однако, связав ритм дыхания со снижением давления в водолазном баллоне, можно рассчитать средний объем вдоха в определенный временной интервал. Механизм же метаболического контроля может косвенно оцениваться по спектру дыхательного ритма [18].

Заключение. Разработанный метод позволяет, не нарушая целостности трактов дыхательного аппарата, измерить под водой параметры ритма дыхания водолаза и соотношение продолжительностей фаз вдоха и выдоха. Эти физиологические характеристики перспективны для мониторинга состояния водолаза во время пребывания под водой.

Метод, в частности, может быть аппаратно реализован как дополнительная функция в декомпрессионном компьютере подводного пловца.

Литература

1. Rostain J.C., Balon N. Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects. *Undersea Hyperb. Med.* 2006; 33: 197–204.
2. Cibis T., Groh B.H., Gattermann H., Leutheuser H., Eskofier B.M. Wearable real-time ECG monitoring with emergency alert system for scuba diving. 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2015: 6074–6077.
3. Alteppe C., Egi S.M., Ozyigit T., Pierleoni P. Nerites. *Proceedings of the International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies. SCITEPRESS-Science and Technology Publications, Lda.* 2016: 119–124.
4. Alteppe C., Egi S., Ozyigit T., Sinoplu D., Marroni A., Pierleoni P. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors.* 2017; 17 (6): 1349.
5. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Фирма «Слово»; 2001. 266.
6. Clark J.M., Thom S.R. Oxygen under pressure. In: *Physiology and Medicine of Diving.* 2003: 358–418.
7. Duane S.F., Weir E.K., Stewart R.M., Niewoehner D.E. Distal airway responses to changes in oxygen and carbon dioxide tensions. *Respiration physiology.* 1979; 38 (3): 303–311.
8. Thorsen E., Skogstad M., Reed J.W. Subacute effects of inspiratory resistive loading and head-out water immersion on pulmonary function. *Undersea & hyperbaric medicine.* 1999; 26 (3): 137.
9. Wilmshurst P.T., Crowther A., Nuri M., Webb-Peploe M.M. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. *The Lancet.* 1989; 333 (8629): 62–65.
10. Кулес В.Г., Маринин В.Ф., Реуцкий И.А., Сивков С.И. Врачебные методы диагностики: учебное пособие. М.: ГЕОТАР-Медиа; 2006. 300.
11. Тюрин. В.И. Внимание, глубина. М.: ДОСААФ; 1974. 26.
12. Fothergill D.M., Sims J.R., Curley M.D. Neoprene Wet-Suit Hood Affects Low-Frequency Underwater Hearing Thresholds. *Aviation, Space and Environmental Medicine.* 2004; 75 (5): 397.

13. Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Дьяченко А.И., Костив А.Е. Сравнение характеристик акустических датчиков различных типов при регистрации дыхательных звуков на поверхности грудной клетки человека. *Акустический журнал*. 2013; 59 (4): 530–538.
14. Donskoy D.M. Acoustic Emission Mechanism from Scuba Diving Equipment. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2007; 12 (5): 3086.
15. Donskoy D., Imas L., Yen T., Sedunov N., Tsionskiy M., Sedunov A. Turbulence- Induced Acoustic Emission of SCUBA Breathing Apparatus. *AIP Conference Proceedings*. 2008; 1022 (1): 95–98.
16. Rostig S., Kantelhardt J.W., Penzel T., Cassel W., Peter J.H., Vogelmeier C., Becker H.F., Jerrentrup A. Nonrandom variability of respiration during sleep in healthy humans. *Sleep*. 2005; 28 (4): 411.
17. Hnatkova K., Copie X., Staunton A., Malik M. Numeric processing of Lorenz plots of RR intervals from long-term ECGs. Comparison with time-domain measures of heart rate variability for risk stratification after myocardial infarction. *Journal of electrocardiology*. 1995; 28: 74.
18. Гришин О.В., Гришин В.Г., Коваленко Ю.В. Вариабельность легочного газообмена и дыхательного ритма. *Физиология человека*. 2012; 38 (2): 87.

NEW POSSIBILITIES FOR DIVER'S MONITORING DURING UNDERWATER DIVING USING NOISES ASSOCIATED WITH NATURAL RESPIRATION

A.E. Kostiv, V.I. Korenbaum

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

e-mail: kostiv.anatoly@gmail.com

Under normal conditions, breathing is reflexive, so it provides the necessary content of oxygen and carbon dioxide to the human body. However, elevated levels of partial oxygen, carbon dioxide and nitrogen pressure during underwater diving (considering the depth of diving, physical activity load, respiratory delays and changes in the inhaled gas density), require a conscious breathing control from the diver. Loss of breathing control can cause panic and/or loss of consciousness under water.

The purpose of the paper is to study the possibility to control diver's physiological state under water by in-situ breathing noises.

Materials and Methods. The authors developed a method to record underwater breathing noises of a scuba diver. The method ensures the determination of the breathing rhythm without violating the integrity of the respiratory apparatus tract. They also proposed a method to separate the inspiration and expiration sounds, which allowed them to control the duration of respiratory phase ratio. Methods of analyzing heart rate variability were used to assess respiration rhythms.

Results. During field experiments, it was shown that in case of a regular diving, the average respiratory rhythm of a diver was 9.3 respiratory movements per minute; inhalation/exhalation ratio was 1:2.5; mean square deviation – 1.4 s. In the case of an emergency, the average respiratory rhythm of a diver was 18 respiratory cycles per minute; the ratio of respiration phases was 1:1.3; variability – 1 s. Thus, in an emergency situation, the diver's breathing was 2 times faster, exhalation shortened in regard to inspiration, and the breathing rhythm became less variable. Consequently, the acoustical physiological parameters of the respiratory rhythm, namely, its variability, inspiration/expiration ratio can indicate the diver's state.

Conclusion. The developed method allowed us to measure underwater parameters of the diver's breathing rhythm and inspiration/expiration ratio without violating the integrity of the respiratory apparatus tract. Indication of the physiological respiration parameters can be implemented in the decompression computer of an underwater swimmer.

Keywords: *diver, monitoring, breathing noises, breathing rhythm, respiratory cycle, variability, voice recorder.*

References

1. Rostain J.C., Balon N. Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects. *Undersea Hyperb. Med.* 2006; 33: 197–204.
2. Cibis T., Groh B.H., Gattermann H., Leutheuser H., Eskofier B.M. Wearable real-time ECG monitoring with emergency alert system for scuba diving. *37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. 2015: 6074–6077.
3. Altepe C., Egi S.M., Ozyigit T., Pierleoni P. Nerites. *Proceedings of the International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*. SCITEPRESS-Science and Technology Publications, Lda. 2016: 119–124.
4. Altepe C., Egi S., Ozyigit T., Sinoplu D., Marroni A., Pierleoni P. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors*. 2017; 17 (6): 1349.
5. Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N. *Vodolaznye spuski i ikh meditsinskoe obespechenie* [Diving and its medical support]. Moscow: Firma «Slovo»; 2001. 266 (in Russian).
6. Clark J.M., Thom S.R. Oxygen under pressure. In: *Physiology and Medicine of Diving*. 2003: 358–418.
7. Duane S.F., Weir E.K., Stewart R.M., Niewoehner D.E. Distal airway responses to changes in oxygen and carbon dioxide tensions. *Respiration physiology*. 1979; 38 (3): 303–311.
8. Thorsen E., Skogstad M., Reed J.W. Subacute effects of inspiratory resistive loading and head-out water immersion on pulmonary function. *Undersea & hyperbaric medicine*. 1999; 26 (3): 137.
9. Wilmschurst P.T., Crowther A., Nuri M., Webb-Peploe M.M. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. *The Lancet*. 1989; 333 (8629): 62–65.
10. Kukes V.G., Marinin V.F., Reutskiy I.A., Sivkov S.I. *Vrachebnye metody diagnostiki: uchebnoe posobie* [Medical diagnostic methods: Manual]. Moscow: GEOTAR-Media; 2006. 300 (in Russian).
11. Tyurin V.I. *Vnimanie, glubina* [Attention: depth]. Moscow: DOSAAF; 1974. 26 (in Russian).
12. Fothergill D.M., Sims J.R., Curley M.D. Neoprene Wet-Suit Hood Affects Low-Frequency Underwater Hearing Thresholds. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 2004; 75 (5): 397.
13. Korenbaum V.I., Tagil'tsev A.A., D'yachenko A.I., Kostiv A.E. Sravnenie kharakteristik akusticheskikh datchikov razlichnykh tipov pri registratsii dykhatel'nykh zvukov na poverkhnosti grudnoy kletki cheloveka [Comparison of various acoustic sensor characteristics when registering respiratory sounds from the human chest surface]. *Akusticheskiy zhurnal*. 2013; 59 (4): 530–538 (in Russian).
14. Donskoy D.M. Acoustic Emission Mechanism from Scuba Diving Equipment. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2007; 12 (5): 3086.
15. Donskoy D., Imas L., Yen T., Sedunov N., Tsionskiy M., Sedunov A. Turbulence-Induced Acoustic Emission of SCUBA Breathing Apparatus. *AIP Conference Proceedings*. 2008; 1022 (1): 95–98.
16. Rostig S., Kantelhardt J.W., Penzel T., Cassel W., Peter J.H., Vogelmeier C., Becker H.F., Jerrentrup A. Nonrandom variability of respiration during sleep in healthy humans. *Sleep*. 2005; 28 (4): 411.
17. Hnatkova K., Copie X., Staunton A., Malik M. Numeric processing of Lorenz plots of RR intervals from long-term ECGs. Comparison with time-domain measures of heart rate variability for risk stratification after myocardial infarction. *Journal of electrocardiology*. 1995; 28: 74.
18. Grishin O.V., Grishin V.G., Kovalenko Yu.V. Variabel'nost' legochnogo gazoobmena i dykhatel'nogo ritma [Variability of pulmonary gas exchange and respiratory rhythm]. *Fiziologiya cheloveka*. 2012; 38 (2): 87 (in Russian).

УДК 612.2:57.034

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-98-105

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАТТЕРНА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМИ ХРОНОТИПАМИ*

С.И. Павленко^{1,2}, О.А. Ведясова¹

¹ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева», г. Самара, Россия;

²ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз», г. Самара, Россия

e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

Цель. Анализ паттерна внешнего дыхания у студентов с утренним, дневным и вечерним типами активности в условиях покоя и после монотонной умственной нагрузки в разное время дня весенне-летнего и осенне-зимнего периодов года.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись студенты – «жаворонки», «голуби» и «совы». Индивидуальный хронотип испытуемых определяли с помощью теста Хорна–Остберга в модификации Путилова, а также анкетирования по Московченко. Внешнее дыхание регистрировали методом спирографии утром, днем и вечером в исходном состоянии и после выполнения монотонной умственной нагрузки. Анализировали изменения объемных и временных показателей спирограммы.

Результаты. Выявлено, что «голубям» и «жаворонкам» свойственна более выраженная по сравнению с «совами» сезонная и дневная динамика внешнего дыхания. У «голубей» исходные значения параметров паттерна дыхания и их изменения при монотонной умственной нагрузке в дневные и вечерние часы в осенне-зимнем периоде были больше, чем в весенне-летнем. У «жаворонков» подобные сезонные различия паттерна дыхания также отмечались в покое и при нагрузке, но в утреннее и вечернее время суток. У «сов» сезонная зависимость внешнего дыхания проявлялась в виде доминирования его реакций на работу в вечернее время дня осенне-зимнего периода года.

Заключение. Полученные данные отражают хронотипическую зависимость сезонных и циркадианных изменений внешнего дыхания. На основании результатов исследования можно говорить о разном вкладе дыхательных реакций в механизмы трудовой адаптации у лиц с утренним, дневным и вечерним типами активности в различные сезоны года.

Ключевые слова: паттерн дыхания, сезонные изменения, хронотипы, монотонная нагрузка, студенты.

Введение. В настоящее время значительно усилился интерес физиологов и клиницистов к ритмическим вариациям биологических и поведенческих паттернов [1, 2]. Данный аспект исследований очень актуален в плане оптимизации режимов сна и отдыха, организации трудового и учебного процесса [3], ослабления негативных эффектов социального джетлага на организм человека [4]. Заслуживает внимания разработка вопроса о биоритмах внешнего дыхания, в т.ч. о мезоритмах (циркадианных) и макроритмах (циркаднуальных) его паттерна у человека в различных условиях среды обитания и при раз-

ных видах деятельности [5]. Ритмологический анализ дыхания как функции, определяющей уровень здоровья и адаптационный потенциал организма, особенно важен в отношении школьников и студентов [6, 7], у которых график учебного времени не совпадает с циркадианными параметрами физиологических функций [8], что является причиной десинхронозов и нарушения адаптации.

Цель исследования. Анализ паттерна внешнего дыхания у студентов с утренним, дневным и вечерним типами активности в условиях покоя и после монотонной умственной нагрузки в разное время дня весенне-летнего и осенне-зимнего периодов года.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-14073.

Материалы и методы. Исследование проведено в осенне-зимний и весенне-летний периоды учебного года на студентах Самарского университета в возрасте 19–23 лет с соблюдением правил биоэтики в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Хронотипы испытуемых определяли общепринятым методом с помощью теста Д. Хорна – О. Остберга в модификации А.А. Путилова [9] и анкеты О.Н. Московченко [10]. В весенне-летний период были обследованы 27 «жаворонков», 46 «голубей» и 53 «совы», а в осенне-зимний – соответственно 29, 54 и 50 представителей указанных хронотипов. Внешнее дыхание регистрировали на компьютерном спирографе КМ-АР-01-«Диамант» до и после выполнения дозированной умственной нагрузки монотонного характера. Монотонность работы создавалась непрерывным последовательным выполнением корректурных тестов и задач на арифметический счет в уме. В указанные сезоны года каждого испытуемого обследовали в утренние, дневные и вечерние часы в течение одного дня. Анализировали изменения минутного объема дыхания (МОД, л/мин), дыхательного объема (ДО, л), частоты дыхания (ЧД, цикл/мин), времени вдоха (Твд, с) и выдоха (Твйд, с), дыхательного коэффициента (Твд/Твйд), длительности дыхательного цикла (Тц, с), объемной скорости инспираторного потока ($\dot{V}_i$, л/мин). Статистическую обработку полученных данных проводили в программе SigmaPlot 12.0, достоверными считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Анализ спирограмм, зарегистрированных у студентов в состоянии покоя и после монотонной умственной деятельности, показал наличие сезонных особенностей паттерна внешнего дыхания у представителей всех хронотипов. При этом наблюдаемые сезонные различия более заметно проявлялись у «жаворонков» и «голубей».

Оценивая паттерн дыхания у утреннего хронотипа, следует отметить, что в состоянии покоя межсезонные различия касались ряда показателей спирограмм и отмечались в утренние и вечерние часы (рис. 1). Так, в весенне-летнем периоде утренние значения

МОД и ЧД у данного хронотипа были меньше соответственно на 21,8 и 15,3 % ($p < 0,05$), чем в осенне-зимнем периоде. Отмечаемое во второй половине года увеличение ЧД в утренние часы было обусловлено увеличением времени выдоха и общей продолжительности дыхательного цикла. В частности, утренние показатели Твйд и Тц весной/летом превышали значения, наблюдаемые осенью/зимой, на 22,9 и 19,1 % ($p < 0,05$) соответственно. Сезонные различия вечерних показателей дыхания у «жаворонков» проявлялись в величине Твйд, которая уменьшалась в осенне-зимний период на 12,7 % по сравнению с весенне-летним периодом. Более выраженные сезонные особенности дыхания, регистрируемые у «жаворонков» в утренние часы, могут быть связаны со временем максимального выброса в кровь кортизола, что происходит у них раньше, чем у большинства людей. Кроме того, согласно литературным данным [11], «жаворонкам» свойственны в целом более высокое содержание кортизола и его более значительные суточные вариации, чем, например, вечернему хронотипу.

Что касается студентов с дневным хронотипом, то межсезонные различия исходных параметров спирограмм отмечались у них в дневные часы, а также, подобно «жаворонкам», вечером и проявлялись в величинах МОД, ЧД, $\dot{V}_i$, Твд и Тц (рис. 2).

В частности, МОД у «голубей» в осенне-зимний сезон в дневные и вечерние часы был выше соответственно на 20,8 ($p < 0,01$) и 18,3 % ($p < 0,05$), чем в весенне-летний период. ЧД у этих студентов осенью/зимой также возрастала по сравнению с первым полугодием, но слабее, чем у «жаворонков» (на 9,4 %; $p < 0,05$), причем эта реакция обуславливалась главным образом изменениями фазы вдоха. Осенью/зимой у «голубей» отмечалось увеличение дневного значения $\dot{V}_i$ на 18,2 % ($p < 0,05$) и уменьшение вечернего значения Твд на 12,9 % ($p < 0,05$) относительно весенне-летних показателей. Характерное для «голубей» наличие сезонных различий в дневных значениях показателей дыхания, вероятно, связано с разным уровнем активации их биоритмов в часы наибольшей суточной активности в весенне-летний и осенне-зимний периоды.

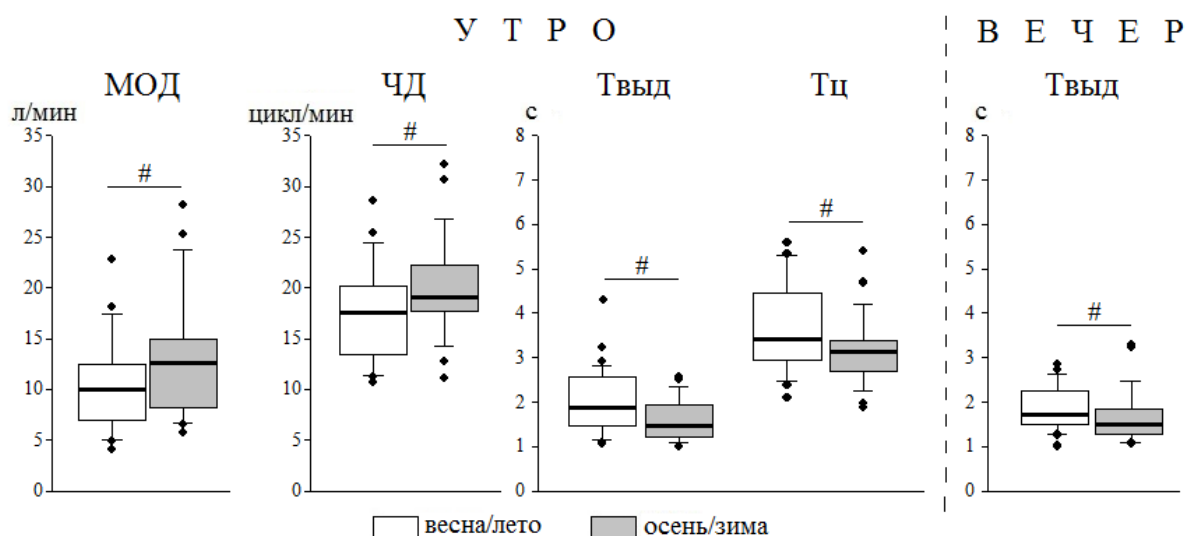


Рис. 1. Сезонные особенности показателей внешнего дыхания у студентов с утренним хронотипом в состоянии покоя в разные периоды дня.

– достоверные различия между весенне-летним и осенне-зимним периодами при $p < 0,05$ (Wilcoxon Signed Rank Test)

Приуроченность сезонных различий паттерна дыхания к утреннему времени дня у «жаворонков» и к дневным часам у «голубей» позволяет говорить о хронотипической зависимости цирканнуальных изменений дыхательной функции. Определенным подтверждением этого служат результаты наблюдений за студентами-«совами», которые в нашем исследовании показали наименьшую чувствительность функции дыхания в состоянии покоя к смене периодов года. Одним из объяснений этого может быть более высокий порог возбудимости, отмечаемый у представителей вечернего типа [3], и, возможно, меньшая их чувствительность к факторам, сопровождающим смену сезонов года.

Изменения дыхания у студентов в ответ на монотонную умственную нагрузку зависели как от типа биоритмов, что нами уже отмечено ранее [7], так и от периода года. У «жаворонков» и «сов» наибольшее количество менявшихся показателей наблюдалось при нагрузке в осенне-зимнем, а у «голубей» в весенне-летнем периоде. В частности, у утреннего типа (табл. 1) весной/летом дыхание менялось только при работе вечером, когда отмечалось уменьшение МОД, обусловленное снижением ДО. В осенне-зимний сезон респираторные реакции у «жаворонков» раз-

вивались при умственной нагрузке в утренние и вечерние часы и касались временных и объемных показателей. Нагрузка утром снижала МОД за счет уменьшения ДО, при выполнении тестов вечером снижение МОД происходило за счет уменьшения ЧД. Кроме того, в оба периода года монотонная нагрузка у «жаворонков» в вечернее время уменьшала объемную скорость инспираторного потока на 11,7 ($p < 0,01$) и 16,7 % ($p < 0,05$) соответственно.

У «голубей» статистически значимые реакции на монотонную нагрузку в оба периода года наблюдались днем и вечером (табл. 1). В весенне-летний период при работе днем среди объемных параметров паттерна дыхания у них достоверно менялись значения ЖЕЛ и V_i (снижение в среднем на 6,1 %; $p < 0,05$), а среди временных – Тц, Твд и Твд/выд, которые увеличивались в среднем на 8,4 % ($p < 0,05$). Выполнение однообразных тестовых заданий в вечерние часы весенне-летнего периода вызывало уменьшение ДО и длительности дыхательного цикла. Несколько иные реакции на нагрузку у «голубей» отмечались в осенне-зимний период. Выполнение тестов в дневные часы в данный сезон года вызывало у них снижение ДО и соответствующее уменьшение МОД. Параллельно

с этим статистически значимо (в среднем на 11,1 %) уменьшались объемная скорость инспираторного потока V_i и коэффициент $T_{вд}/T_{выд}$. Монотонная работа в вечернее время, как и днем, уменьшала у «голубей» МОД (табл. 1).

У «сов» в весенне-летнем периоде значимые реакции на нагрузку наблюдались в

виде снижения ЖЕЛ в утренние часы и пролонгации вдоха при работе днем. В осенне-зимнем периоде реакции дыхания у данного хронотипа проявлялись при работе в вечернее время в виде снижения МОД и V_i в среднем на 9,1 % ($p < 0,05$) в сочетании с уменьшением ЧД на фоне удлинения дыхательного цикла и фазы вдоха (табл. 1).

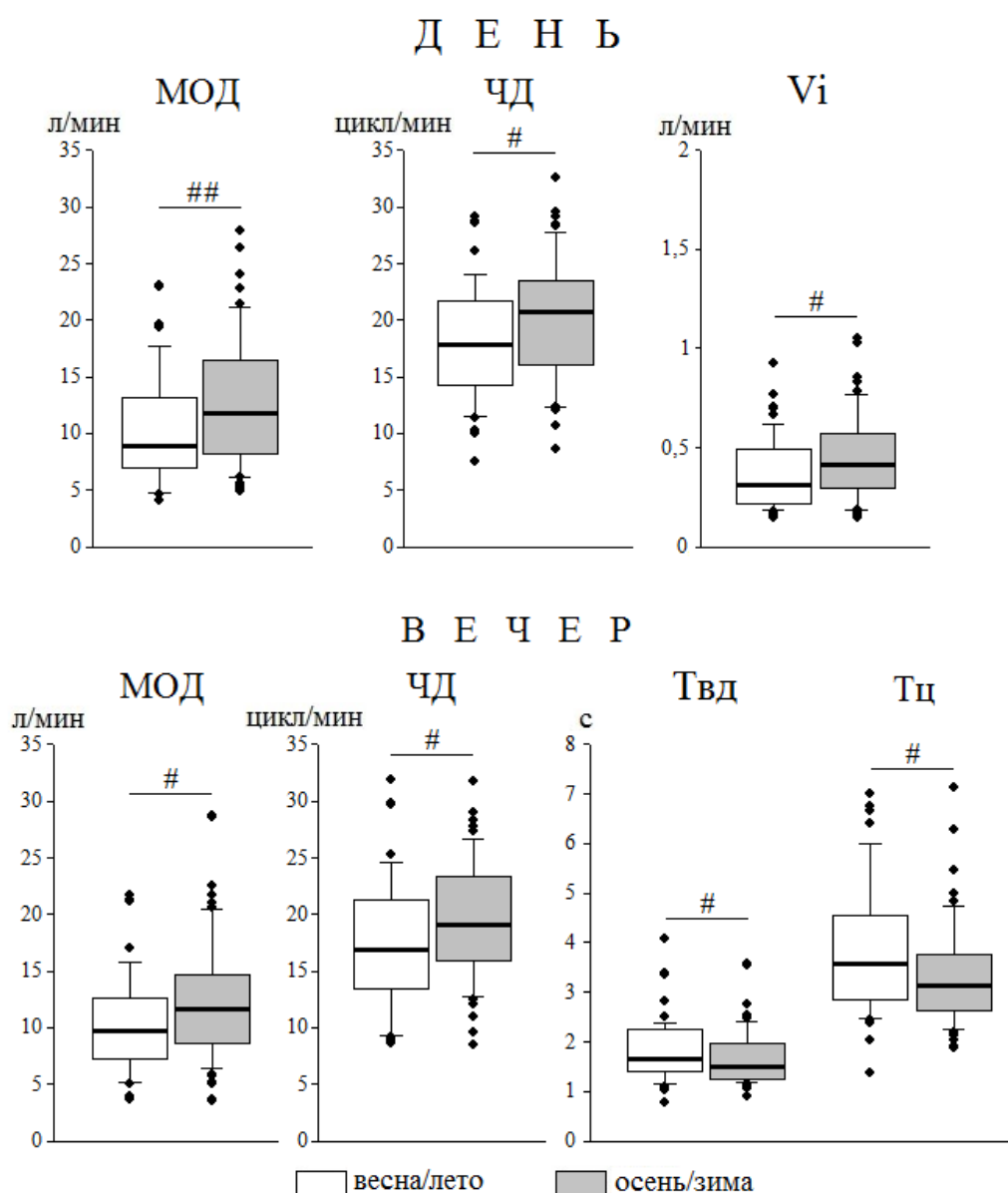


Рис. 2. Сезонные особенности показателей внешнего дыхания у студентов с дневным хронотипом в состоянии покоя в разные периоды дня. Достоверные различия между весенне-летним и осенне-зимним периодами при: $\#$ – $p < 0,05$; $##$ – $p < 0,01$ (Wilcoxon Signed Rank Test)

Таблица 1

**Изменения (% от исходного уровня) параметров паттерна внешнего дыхания
у студентов с утренним, дневным и вечерним хронотипами
после монотонной умственной нагрузки в различные периоды года**

Параметр	«Жаворонки»			«Голуби»			«Совы»		
	Утро	День	Вечер	Утро	День	Вечер	Утро	День	Вечер
Весенне-летний период									
МОД	-9,9	-3,7	-10,3 **	2,9	-5,6	-4,5	-2,1	0,8	-2,3
ДО	-6,8	-4,8	-7,5 *	1,4	4,7	-10,9 *	-4,6	4,9	-1,5
ЧД	-3,1	7,2	0,9	-0,9	-4,6	2,9	2,8	-2,0	-1,6
Vi	-5,3	-5,0	-11,7 **	-2,8	-6,1 *	-5,7	-0,1	-4,4	-2,2
Тц	4,4	5,4	1,7	1,9	4,6 *	6,1 *	-3,7	3,8	0,6
Твд	1,1	5,6	6,1	3,9	8,1 *	-3,8	-3,5	6,7	1,8
Твд/Твыд	-7,1	-2,1	5,3	4,0	13,0 *	-2,8	-3,8	6,1	6,0
ЖЕЛ	-4,3	-1,6	-1,9	-0,2	-6,1 *	-2,4	-5,6 *	2,2	-4,4
Осенне-зимний период									
МОД	-14,3 **	-1,7	-13,6 *	-6,4	-14,8 ***	-7,2 *	-6,0	-3,3	-9,1 *
ДО	-12,1 **	-0,5	-4,7	-4,8	-5,9 *	-4,3	-1,9	-2,9	-5,4 *
ЧД	-0,2	-1,8	-4,3 *	-1,8	-2,6	-0,6	-0,5	-1,4	-3,6
Vi	-11,1	-4,8	-16,7 *	-11,9	-11,3 **	-6,9	-7,3	-0,1	-9,1 *
Тц	-0,63	-2,2	5,2	0,8	3,8	-1,9	-1,8	2,4	-7,2 *
Твд	-8,2	7,4	9,2	3,1	1,8	-0,6	0,5	-4,8	-7,2 *
Твд/Твыд	-8,4	6,4	5,8	1,1	-10,9 *	-1,9	2,0	-0,9	-6,1
ЖЕЛ	-4,5	-1,8	0,4	1,6	-0,8	0,4	-2,7	-1,3	0,6

Примечание. * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ – достоверные изменения относительно состояния покоя (Mann–Whitney Rank Sum Test).

Выявленные у обследованных студентов сезонные особенности фоновых параметров дыхания и его реакций на монотонную умственную нагрузку в разное время дня могут

быть результатом воздействия ряда факторов. В качестве основного фактора следует назвать изменение активности супрахиазматического ядра, которое является ведущим гене-

ратором циркадианных ритмов физиологических функций [12]. Главным внешним регулятором активности циркадианного пейсмекера служат колебания уровня освещенности и длительности световых периодов [13, 14]. Получая информацию об этих колебаниях, супрахиазматическое ядро синхронизирует процессы, протекающие в органах и тканях, и влияет на молекулярные механизмы периферических часов, используя электрические, метаболические и эндокринные сигнальные пути [15]. В частности, характер световых раздражений определяет циркадианные паттерны выработки мелатонина и кортизола [2, 16], регулирующих уровень бодрствования и интенсивность физиологических функций. С учетом этого суточные и сезонные колебания параметров дыхания, наблюдаемые у представителей разных хронотипов, допустимо рассматривать в аспекте сезонных вариаций циркадианного профиля этих гормонов. Последний, как показано на примере мелатонина, зависит от нескольких характеристик светового раздражения, включая его интенсивность, спектральный состав, время и продолжительность воздействия [17]. Очевидно, что эти характеристики существенно различаются в весенне-летние и осенне-зимние месяцы года, что может влиять на сезонные ритмы физиологических функций, в т.ч. дыхания.

Межсезонные различия параметров паттерна дыхания могут также определяться климатическими условиями, характерными для разных периодов года. В ряде исследований отмечен рост МОД в осенний [6] и зимний [5] периоды, трактуемый авторами как результат повышения возбудимости дыха-

тельного центра на фоне низких температур внешней среды. Указанные авторы отмечали, что увеличение МОД осенью/зимой и его снижение весной/летом связаны с колебаниями ДО [5, 6]. Однако у обследованных нами студентов сезонная динамика МОД и его изменения при нагрузке обеспечивались вкладом объемных и временных параметров паттерна дыхания, причем соотношение изменений ДО и ЧД различалось у разных хронотипов. Например, изменения МОД определялись у «жаворонков» снижением ЧД и ДО, у «голубей» – ДО, у «сов» – ЧД, что позволяет говорить о циркадианной типологии сезонных колебаний функции внешнего дыхания.

Заключение. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что паттерн внешнего дыхания характеризуется сезонными изменениями и зависит от индивидуальных хронотипов. Основная тенденция сезонной динамики паттерна дыхания у обследованных лиц заключалась в увеличении минутного объема дыхания в осенне-зимний период относительно весенне-летних месяцев. Реакции дыхания на монотонную умственную нагрузку в осенне-зимний период также имели большую выраженность, чем в весенне-летний сезон. Тенденции в сезонных изменениях внешнего дыхания заметнее проявлялись у студентов с утренним и дневным хронотипами, что можно рассматривать в плане более широкого диапазона адаптивных возможностей дыхательной функции у таких лиц. Допустимо говорить о зависимости вклада реакций внешнего дыхания в механизмы трудовой адаптации студентов в различные сезоны года от циркадианной типологии.

Литература

1. Adan A., Natale V. Gender differences in morningness-eveningness preference. *Chronobiol. Int.* 2002; 19 (4): 709–720.
2. Ba-Ali S., Brondsted A.E., Andersen H.U., Sander B., Jennum P.J., Lund-Andersen H. Assessment of diurnal melatonin, cortisol, activity, and sleep-wake cycle in patients with and without diabetic retinopathy. *Sleep Med.* 2019; 54: 35–42.
3. Rahafar A., Maghsudloo M., Farhangnia S., Vollmer C., Randler C. The role of chronotype, gender, test anxiety, and conscientiousness in academic achievement of high school students. *Chronobiol. Int.* 2016; 33 (1): 1–9.
4. Jankowski K.S. Social jet lag: Sleep-corrected formula. *Chronobiol. Int.* 2017; 34 (4): 531–535.
5. Копытова Н.С., Гудков А.Б. Сезонные изменения функционального состояния системы внешнего дыхания у жителей европейского Севера России. *Экология человека.* 2007; 10: 41–43.

6. Завьялова А.А., Щербина Ф.А., Смолина В.С. Сезонные изменения показателей внешнего дыхания у детей среднего школьного возраста – уроженцев г. Архангельска. *Экология человека*. 2012; 2: 28–31.
7. Ведясова О.А., Павленко С.И., Кретова И.Г. Влияние ментального стресса на параметры паттерна дыхания у студентов с разной циркадианной типологией. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2016; 4: 78–85.
8. Koscec A., Radosevic-Vidacek B., Bakotic M. Morningness-eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts. *Chronobiol. Int.* 2013; 31 (1): 52–63.
9. Путилов А.А. «Совы», «жаворонки» и другие. О наших внутренних часах и их влиянии на здоровье и характер. Москва: Совершенство; Новосибирск: Изд-во НГУ; 1997. 264.
10. Москоченко О.Н. Практикум по основам валеологии: учебное пособие. Красноярск: КГТУ; 1999. 228.
11. Oginska H., Fafrowicz M., Golonka K., Marek T., Mojsa-Kaja J., Tucholska K. Chronotype, sleep loss, and diurnal pattern of salivary cortisol in a simulated daylong driving. *Chronobiol. Int.* 2010; 27 (5): 959–974.
12. Арушанян Э.Б., Попов А.В. Современные представления о роли супрахиазматических ядер гипоталамуса в организации суточного периодизма физиологических функций. *Успехи физиологических наук*. 2011; 42 (4): 39–58.
13. McGlashan E.M., Poudel G.R., Vidafar P., Drummond S.P.A., Cain S.W. Imaging individual differences in the response of the human suprachiasmatic area to light. *Front. Neurol.* 2018; 9: 1022. DOI: 10.3389/fneur.2018.01022.
14. Farajnia S., van Westering T.L., Meijer J.H., Michel S. Seasonal induction of GABAergic excitation in the central mammalian clock. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2014; 111: 9627–9632.
15. Albrecht U. Timing to perfection: the biology of central and peripheral circadian clocks. *Neuron*. 2012; 74: 246–260.
16. Aubin S., Kupers R., Ptito M., Jennum P. Melatonin and cortisol profiles in the absence of light perception. *Behav. Brain Res.* 2017; 317: 515–521.
17. Adamsson M., Laike T., Morita T. Annual variation in daily light exposure and circadian change of melatonin and cortisol concentrations at a northern latitude with large seasonal differences in photoperiod length. *J. Physiol. Anthropol.* 2017; 36 (6). DOI: 10.1186/s40101-016-0103-9.

SEASONAL CHARACTERISTICS OF EXTERNAL RESPIRATION PATTERN IN STUDENTS WITH DIFFERENT CHRONOTYPES

S.I. Pavlenko^{1,2}, O.A. Vedyasova¹

¹Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara, Russia

²Medical University "Reaviz", Samara, Russia

e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

The objective of the paper is to analyze the external respiration pattern in students with morning, afternoon and evening types of activity at rest and after monotonous mental work load during the day in the spring-summer and autumn-winter seasons.

Materials and Methods. The authors examined three chronotypes: eveningness with a delayed sleep period (owls), morningness with an advanced sleep period (larks) and indifferent or asynchronous chronotype (pigeons). The individual chronotype was determined using Horne and Ostberg morningness-eveningness questionnaire in Putilov's modification and Moskovchenko questionnaire. In the morning, afternoon and evening spirometry was used to record external respiration in the normal condition and after monotonous mental load. Changes in the volume and time spirogram parameters were analyzed.

Results. It was found out that "pigeons" and "larks" demonstrated more evident seasonal and daily external respiration dynamics if compared to "owls". In "pigeons", the initial values of the breathing pattern parameters and their changes during monotonous mental stress in the daytime and evening hours in the autumn-winter period were higher than in the spring-summer period. In "larks", similar seasonal differences in the respiration pattern were also observed at rest and under load, but only in the morning and in the evening. In "owls", the reaction of external respiration seasonal dependence to work was more evident in the evening in the autumn-winter period.

Conclusion. The data obtained reflect the chronotypic dependence of seasonal and circadian changes in external respiration. Based on the results of the study, we can talk about various influence of respiratory reactions on the mechanisms of labor adaptation in people with morning, afternoon and evening types of activity in different seasons.

Keywords: breathing pattern, seasonal changes, chronotypes, monotonous load, students.

References

1. Adan A., Natale V. Gender differences in morningness-eveningness preference. *Chronobiol. Int.* 2002; 19 (4): 709–720.
2. Ba-Ali S., Brondsted A.E., Andersen H.U., Sander B., Jennum P.J., Lund-Andersen H. Assessment of diurnal melatonin, cortisol, activity, and sleep-wake cycle in patients with and without diabetic retinopathy. *Sleep Med.* 2019; 54: 35–42.
3. Rahafar A., Maghsudloo M., Farhangnia S., Vollmer C., Randler C. The role of chronotype, gender, test anxiety, and conscientiousness in academic achievement of high school students. *Chronobiol. Int.* 2016; 33 (1): 1–9.
4. Jankowski K.S. Social jet lag: Sleep-corrected formula. *Chronobiol. Int.* 2017; 34 (4): 531–535.
5. Kopytova N.S., Gudkov A.B. Sezonnye izmeneniya funktsional'nogo sostoyaniya sistemy vneshnego dykhaniya u zhitel'ev evropeyskogo Severa Rossii [Seasonal changes in the functional state of the external respiration system in the residents of the European North of Russia]. *Ekologiya cheloveka.* 2007; 10: 41–43 (in Russian).
6. Zav'yalova A.A., Shcherbina F.A., Smolina V.S. Sezonnye izmeneniya pokazateley vneshnego dykhaniya u detey srednego shkol'nogo vozrasta – urozhentsev g. Arkhangel'ska [Seasonal changes in the indicators of external respiration in children of secondary school age, residents of Arkhangelsk]. *Ekologiya cheloveka.* 2012; 2: 28–31 (in Russian).
7. Vedyasova O.A., Pavlenko S.I., Kretova I.G. Vliyanie mental'nogo stressa na parametry patterna dykhaniya u studentov s raznoy tsirkadiannoy tipologiyey [Influence of mental stress on breathing pattern parameter in students with different circadian typology]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal.* 2016; 4: 78–85 (in Russian).
8. Koscec A., Radosevic-Vidacek B., Bakotic M. Morningness-eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts. *Chronobiol. Int.* 2013; 31 (1): 52–63.
9. Putilov A.A. «Sovy», «zhavoronki» i drugie. O nashikh vnutrennikh chasakh i ikh vliyaniy na zdorov'e i kharakter [“Owls”, “larks” and others. Our internal watches and their impact on health and character]. Moscow: Sovershenstvo; Novosibirsk: Izd-vo NGU; 1997. 264 (in Russian).
10. Moskovchenko O.N. *Praktikum po osnovam valeologii* [Laboratory manual on the basics of valeology]: uchebnoe posobie [textbook]. Krasnoyarsk: KGTU; 1999. 228 (in Russian).
11. Oginska H., Fafrowicz M., Golonka K., Marek T., Mojsa-Kaja J., Tucholska K. Chronotype, sleep loss, and diurnal pattern of salivary cortisol in a simulated daylong driving. *Chronobiol. Int.* 2010; 27 (5): 959–974.
12. Arushanyan E.B., Popov A.V. Sovremennye predstavleniya o roli suprakhiyazmaticheskikh yader gipotalamusa v organizatsii sutochnogo periodizma fiziologicheskikh funktsiy [Modern ideas about the role of hypothalamus suprachiasmatic nuclei in the organization of daily physiological functions]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk.* 2011; 42 (4): 39–58 (in Russian).
13. McGlashan E.M., Poudel G.R., Vidafar P., Drummond S.P.A., Cain S.W. Imaging individual differences in the response of the human suprachiasmatic area to light. *Front. Neurol.* 2018; 9: 1022. DOI: 10.3389/fneur.2018.01022.
14. Farajnia S., van Westering T.L., Meijer J.H., Michel S. Seasonal induction of GABAergic excitation in the central mammalian clock. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2014; 111: 9627–9632.
15. Albrecht U. Timing to perfection: the biology of central and peripheral circadian clocks. *Neuron.* 2012; 74: 246–260.
16. Aubin S., Kupers R., Ptito M., Jennum P. Melatonin and cortisol profiles in the absence of light perception. *Behav. Brain Res.* 2017; 317: 515–521.
17. Adamsson M., Laike T., Morita T. Annual variation in daily light exposure and circadian change of melatonin and cortisol concentrations at a northern latitude with large seasonal differences in photoperiod length. *J. Physiol. Anthropol.* 2017; 36 (6). DOI: 10.1186/s40101-016-0103-9.

УДК 612.397.23:591.826:613.25:796.015.574]-092.9:599.323.4
DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-106-113

СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ЖИРОВОЙ ТКАНИ КРЫС ПРИ АНАЭРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ НА ФОНЕ ПИТАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТИ

И.Ю. Якимович¹, М.Ю. Котловский², С.В. Гусакова¹, В.В. Иванов¹,
В.Н. Васильев¹, А.М. Дыгай², И.В. Долгалев¹, А.В. Панимаскина¹,
Л.Ю. Котловская², Ю.О. Самойлова¹

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск, Россия;

²НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга
ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»,
г. Томск, Россия

e-mail: iness2501@yandex.ru

Цель – исследовать воздействие анаэробной физической нагрузки на процентное содержание жирных кислот в жировой ткани разной локализации на фоне питания повышенной калорийности у крыс.

Материалы и методы. В исследовании использовали крыс линии Wistar, находящиеся на питании повышенной калорийности (с долей жира 32 %). В первой группе животных физическая нагрузка отсутствовала, крысы второй группы получали физическую нагрузку преимущественно анаэробного характера в виде плавания. Процентное содержание 24 жирных кислот (ЖК) и значение 14 интегративных показателей (комплексов) в депо висцеральной и подкожной жировой ткани определяли на хромато-масс-спектрометре (Agilent Technologies, США).

Результаты. Анаэробная физическая нагрузка привела к увеличению содержания в мезентеральной жировой ткани насыщенных ЖК (НасЖК) и снижению ненасыщенных ЖК (НЖК), а также снижению индекса ненасыщенности; увеличению в забрюшинной жировой ткани ЖК-субстратов сфингофосфолипидов, ЖК-субстратов мембран, снижению субстратов энергии, увеличению содержания ЖК-субстратов витамина F за счет $\omega 6$ НЖК. При этом в подкожном депо наблюдалось снижение суммы полиненасыщенных ЖК, а баланс $\omega 3/\omega 6$ сместился в сторону $\omega 6$ НЖК. В мезентеральной и забрюшинной жировой ткани отмечалось снижение содержания мононенасыщенных ЖК (МНЖК) за счет $\omega 9$ НЖК, а соотношение НасЖК/МНЖК сместилось в сторону НасЖК. Только в забрюшинной жировой ткани было установлено снижение содержания $\omega 7$ НЖК за счет C16:1 $\omega 7$.

Выводы. Регулярная анаэробная физическая нагрузка на фоне питания повышенной калорийности продемонстрировала наиболее выраженное влияние в отношении ЖК в висцеральной жировой ткани, а именно в мезентеральной и забрюшинной.

Ключевые слова: жирные кислоты, комплексы жирных кислот, жировая ткань, анаэробная физическая нагрузка, диета повышенной калорийности.

Введение. Входящие в состав липидов жирные кислоты (ЖК) являются основным субстратом, благодаря которому происходит реализация функции трофологии [1]. Отдельные жирные кислоты играют определенную роль во многих биологических функциях, включая поддержание гомеостаза, экспрессию генов, трансдукцию сигналов, обеспечение энергетическими ресурсами [2].

Жировая ткань (ЖТ) в организме обеспечивает функцию локомоции в период отсутствия поступления питательных веществ извне [1]. При этом ЖТ разной локализации (висцеральное и подкожное жировые депо) имеет свои метаболические и функциональные особенности [3].

Физическая нагрузка является ключевым фактором расходования энергии [4]. Физиче-

ские упражнения влияют на липидный обмен и оказывают моделирующее воздействие на ЖК-состав липидов тканей. При кратковременных интервальных интенсивных физических нагрузках в наибольшей степени активируются анаэробные пути энергообеспечения клеток. Данный вид нагрузки повышает мобилизацию ЖК в восстановительный период после тренировки [5, 6]. Физическая нагрузка является одним из важных факторов профилактики дисфункции ЖТ [7].

Цель исследования. Оценить воздействие анаэробной физической нагрузки на процентное содержание жирных кислот в жировой ткани разной локализации на фоне питания повышенной калорийности у крыс.

Материалы и методы. Исследование проведено на белых крысах линии Wistar (10 шт.). Крысы в течение эксперимента содержались в стандартных условиях на естественном световом режиме со свободным доступом к пище и воде. Проводимые над животными манипуляции соответствовали правилам лабораторной практики.

Животные были разделены на две группы и находились на питании повышенной калорийности (суточное содержание жира в пище составляло 32 % общей калорийности). После адаптационного периода (15 дней) крысы второй группы получали физическую нагрузку преимущественно анаэробного характера в виде плавания (6 нед.) в заданном режиме: через 1 день в течение 80 с в три подхода с периодами отдыха 5 мин и отягощением 8 % от массы тела. Вид нагрузки определялся методом максимального стабильного содержания лактата в сыворотке крови крыс [8]. Вывод животных из эксперимента проводился при помощи CO₂-асфиксии.

Липиды экстрагировались методом J. Folch [9] из навесок жировой ткани (250 мг) разной локализации: мезентериальной (МЖТ), подкожно-паховой (ПЖТ), забрюшинной (ЗЖТ). Исследование метиловых эфиров ЖК производилось на хромато-масс-спектрометре (Agilent Technologies, США). При этом использовалась хроматографическая колонка HP-5MS (Agilent Technologies, США) длиной 30 м, внешним диаметром 0,25 мм и толщиной пленки 0,25 мкм.

Идентификация эфиров ЖК проводилась при помощи сравнения экспериментальных масс-спектров со спектрами баз данных программ NIST MS Search 2.0 и AMDIS Analysis, а также путем сопоставления времени выхода анализируемого образца со временем выхода известных, предварительно метилированных стандартов ЖК.

Содержание ЖК: 14 ненасыщенных ЖК (НЖК) и 10 насыщенных (НасЖК) – отображалось в процентах от общей суммы площадей пиков.

Анализировались значения 14 интегративных показателей (комплексов) ЖК. В их состав вошли: $\Sigma \omega 3$, $\omega 6$, $\omega 7$, $\omega 9$, НЖК, НасЖК, полиненасыщенные ЖК (ПНЖК) (C18:3+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), мононенасыщенные ЖК (МНЖК), НасЖК с четным числом атомов углерода (НасЖК четных), НасЖК с нечетным числом атомов углерода (НасЖК нечетных), ЖК-субстраты витамина F (C18:2+C18:3+C20:4+C20:5+C22:6), сфингофосфолипидов (СФЛ) (C24:1 $\omega 9$ +C24:0), глицерофосфолипидов (ГФЛ) (C16:0+C18:1 $\omega 9$ +C18:2+C18:3), энергии (МНЖК+НасЖК), мембран (C18:3+C18:2+C20:2+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), а также индекс ненасыщенности (ИН=(НЖК/НасЖК)×100). Анализировалось изменение соотношений отдельных ЖК между собой и с их комплексами с целью оценки изменения активности отдельных ферментов, отвечающих за метаболизм ЖК и функционирование систем транспорта, антиоксидантной защиты, депонирования, окисления и эндогенного образования данных ЖК.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы SPSS 22.0 методами непараметрической статистики. Результаты представлены в виде медианы (Me), верхнего и нижнего квартилей (Q1, Q3). Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. У крыс с регулярной анаэробной физической нагрузкой на фоне питания повышенной калорийности в ЗЖТ и ПЖТ отмечено более низкое ($p < 0,05$) процентное содержание C18:3 $\omega 3$ (табл. 1). Помимо этого, в ПЖТ более низким ($p < 0,05$) оказался уровень C20:5 и $\Sigma \omega 3$ НЖК (табл. 2). В то же время в ЗЖТ при физической нагрузке более вы-

соким ($p < 0,05$) было содержание C18:2 и $\Sigma \omega 6$ НЖК. В свою очередь в ПЖТ отмечено пониженное ($p < 0,05$) содержание C20:3 и повышение ($p < 0,05$) значения $\omega 3/\omega 6$, что указывало на сдвиг баланса в направлении $\omega 3$ НЖК. В группе крыс с физической нагрузкой в ЗЖТ зафиксировано пониженное ($p < 0,05$) содержание C16:1 $\omega 7$ и значение $\Sigma \omega 7$ НЖК. В МЖТ и

ЗЖТ установлен сниженный ($p < 0,05$) уровень C18:1 $\omega 9$ и $\Sigma \omega 9$ НЖК. При этом в МЖТ более высоким ($p < 0,05$) было содержание C22:1, а в ЗЖТ – C24:1. При анаэробной физической нагрузке в МЖТ зафиксировано более высокое содержание C18:0 ($p < 0,05$). Кроме того, в МЖТ отмечено увеличенное ($p < 0,05$) содержание C16:0 и Σ НасЖК четных.

Таблица 1

**Содержание основных жирных кислот
в жировой ткани разной локализации у крыс, Ме [Q1; Q3]**

Шифр жирных кислот	Подкожная жировая ткань		Забрюшинная жировая ткань		Мезентериальная жировая ткань	
	контроль	нагрузка	контроль	нагрузка	контроль	нагрузка
C18:3 $\omega 3$	0,046 [0,043; 0,054]	0,024 [0,023; 0,032]*	0,06 [0,05; 0,064]	0,042 [0,036; 0,049]*	0,04 [0,03; 0,05]	0,03 [0,02; 0,09]
C20:5 $\omega 3$	0,013 [0,01; 0,016]	0,0086 [0,0076; 0,01]*	0,009 [0,007; 0,013]	0,009 [0,008; 0,011]	0,01 [0,007; 0,012]	0,009 [0,007; 0,051]
C18:2 $\omega 6$	38,25 [36,33; 38,88]	38,11 [36,8; 39,37]	37,02 [35,99; 37,86]	39,86 [38,66; 41,01]*	37,62 [36,58; 38,49]	37,01 [34,84; 38,46]
C20:3 $\omega 6$	0,089 [0,087; 0,96]	0,066 [0,06; 0,068]*	0,063 [0,061; 0,072]	0,072 [0,07; 0,08]	0,063 [0,062; 0,065]	0,06 [0,05; 0,1]
C16:1 $\omega 7$	1,21 [1,17; 1,37]	0,71 [0,63; 1,32]	1,31 [1,28; 1,7]	0,94 [0,88; 1,17]*	1,14 [0,95; 1,2]	1,2 [0,79; 3,53]
C18:1 $\omega 9$	34,17 [32,7; 36,11]	34,63 [33,45; 35,87]	35,30 [34,28; 36,4]	32,35 [31,60; 34,1]*	36,27 [35,31; 37,02]	33,74 [30,79; 34,39]*
C22:1 $\omega 9$	0,012 [0,01; 0,02]	0,016 [0,014; 0,024]	0,012 [0,01; 0,03]	0,011 [0,008; 0,017]	0,009 [0,008; 0,01]	0,02 [0,016; 0,022]*
C24:1 $\omega 9$	0,005 [0,003; 0,051]	0,009 [0,005; 0,01]	0,004 [0,003; 0,01]	0,0079 [0,0072; 0,0084]*	0,0055 [0,0032; 0,0064]	0,008 [0,003; 0,013]
C14:0	0,74 [0,71; 0,86]	0,62 [0,54; 0,79]	0,8 [0,77; 0,89]	0,675 [0,657; 0,749]*	0,65 [0,6; 0,67]	0,68 [0,57; 1,45]
C16:0	12,2 [11,9; 12,98]	11,06 [10,56; 12,97]	12,23 [12,1; 12,38]	12,06 [11,76; 12,39]	10,79 [10,59; 11,02]	13,29 [11,57; 17,95]*
C18:0	2,93 [2,65; 3,23]	3,26 [3,06; 3,52]	2,8 [2,43; 2,94]	3,13 [2,81; 3,31]	2,65 [2,37; 2,84]	3,21 [2,79; 3,64]*
C17:0	0,142 [0,138; 0,17]	0,16 [0,15; 0,17]	0,132 [0,13; 0,15]	0,17 [0,15; 0,19]*	0,12 [0,11; 0,13]	0,15 [0,12; 0,21]
C14:0/ C16:0	6,1 [5,9; 6,6]	5,6 [5,2; 6,1]	7 [6,3; 7,2]	6 [5,6; 6,1]*	6 [5,5; 6,4]	5,1 [4,9; 7,9]
C16:0/ C18:0	409 [401; 461]	325 [320; 417]	433 [419; 512]	376 [369; 437]	400 [385; 459]	457 [348; 535]
C16:0/ C16:1 $\omega 7$	1022 [907; 1058]	1566 [1048; 1667]	929 [737; 952]	1279 [1064; 1337]*	929 [906; 1157]	1156 [582; 1475]
C18:0/ C18:1 $\omega 9$	8,2 [7,8; 9,7]	9,2 [8,8; 10,5]	7,7 [7; 8,3]	9,3 [8,7; 10,3]*	7 [6; 8]	9 [8; 12]*
C16:0/ C18:1 $\omega 9$	35 [33; 40]	33 [29; 38]	35 [33; 36]	37 [35; 39]	30 [29; 31]	39 [34; 59]*

Таблица 2

**Содержание комплексов основных жирных кислот
в жировой ткани разной локализации у крыс, Ме [Q1; Q3]**

Комплекс жирных кислот	Подкожная жировая ткань		Забрюшинная жировая ткань		Мезентериальная жировая ткань	
	контроль	нагрузка	контроль	нагрузка	контроль	нагрузка
Σ ω3	0,08 [0,07; 0,11]	0,051 [0,046; 0,058]*	0,082 [0,08; 0,1]	0,07 [0,06; 0,09]	0,07 [0,06; 0,08]	0,053 [0,046; 0,258]
Σ ω6	38,84 [36,9; 39,47]	38,6 [37,33; 39,95]	37,46 [36,38; 38,28]	40,36 [39,08; 41,44]*	38,08 [36,97; 38,88]	37,45 [35,69; 38,81]
ω3/ω6	0,2 [0,19; 0,27]	0,14 [0,12; 0,15]*	0,23 [0,21; 0,27]	0,17 [0,15; 0,22]	0,17 [0,16; 0,2]	0,14 [0,12; 0,73]
Σ ω7	10,19 [9,91; 10,45]	10,19 [9,96; 10,57]	10,57 [10,32; 10,79]	10,12 [9,86; 10,25]*	10,92 [10,56; 11,13]	10,5 [9,32; 10,83]
Σ ω9	34,56 [33,14; 36,57]	35,07 [33,87; 36,28]	35,68 [34,65; 36,78]	32,82 [32,02; 34,5]*	36,62 [35,68; 37,4]	34,1 [31,27; 34,88]*
Σ НасЖК четных	15,83 [15,58; 17,13]	15,31 [14,54; 17,03]	15,83 [15,72; 16,13]	15,88 [15,69; 16,43]	14,08 [13,98; 14,52]	17,25 [15,38; 22,95]*
Σ НасЖК нечетных	0,38 [0,36; 0,44]	0,38 [0,37; 0,39]	0,37 [0,36; 0,42]	0,45 [0,4; 0,46]*	0,32 [0,31; 0,34]	0,37 [0,33; 0,53]
Σ СФЛ	0,018 [0,014; 0,021]	0,03 [0,017; 0,032]	0,017 [0,014; 0,019]	0,03 [0,021; 0,029]*	0,021 [0,015; 0,023]	0,026 [0,013; 0,032]
Σ Суб. мембран	38,94 [36,97; 39,56]	38,65 [37,39; 40,01]	37,55 [36,47; 38,37]	40,44 [39,14; 41,52]*	38,14 [37,04; 38,96]	37,5 [35,94; 38,86]
Σ Суб. энергии	61,06 [60,44; 63,03]	61,35 [59,99; 62,61]	62,45 [61,63; 63,53]	59,56 [58,48; 60,86]*	61,86 [61,04; 62,96]	62,5 [61,14; 64,06]
Σ ПНЖК	0,54 [0,53; 0,59]	0,43 [0,39; 0,49]*	0,4 [0,37; 0,47]	0,37 [0,35; 0,46]	0,4 [0,36; 0,45]	0,4 [0,31; 0,88]
ПНЖК/ C18:1 ω9	1,2 [1,13; 1,37]	1 [0,8; 1,1]*	0,87 [0,8; 1]	0,9 [0,8; 1,1]	0,83 [0,75; 0,97]	0,9 [0,7; 2,2]
Σ Вит. F	38,73 [36,77; 39,35]	38,44 [37,22; 39,75]	37,37 [36,33; 38,21]	40,2 [38,94; 41,35]*	38 [36,9; 38,8]	37,35 [35,62; 38,72]
Вит. F/ C18:1 ω9	114 [102; 120]	110 [105; 119]	106 [100; 111]	124 [114; 131]*	105 [100; 110]	112 [110; 117]
Σ МНЖК	44,83 [43,16; 46,83]	45,17 [43,92; 46,86]	46,06 [45,41; 47,32]	42,99 [41,94; 44,65]*	47,56 [46,24; 48,52]	44,72 [40,58; 45,58]*
ПНЖК/ МНЖК	1,2 [1,13; 1,37]	1 [0,8; 1,1]*	0,87 [0,78; 1,03]	0,87 [0,78; 1,08]	0,83 [0,75; 0,97]	0,9 [0,7; 2,2]
Вит. F/МНЖК	87 [79; 91]	85 [80; 90]	81 [77; 84]	94 [87; 99]*	80 [76; 84]	85 [83; 89]
Σ НЖК	83,79 [82,44; 84,06]	84,32 [82,6; 85,08]	83,81 [83,46; 83,9]	83,69 [83,15; 83,84]	85,6 [85,14; 85,71]	82,41 [76,53; 84,25]*
Σ НасЖК	16,21 [15,94; 17,56]	15,68 [14,92; 17,4]	16,19 [16,1; 16,54]	16,31 [16,16; 16,85]	14,4 [14,29; 14,86]	17,59 [15,75; 23,47]*
НасЖК/ МНЖК	36 [35; 41]	35 [32; 39]	35 [34; 36]	38 [36; 40]*	30,1 [29,7; 32]	39 [35; 58]*
ИН	517 [470; 527]	538 [475; 570]	518 [505; 521]	513 [494; 519]	594 [573; 600]	472 [332; 535]*

В ЗЖТ наблюдалось сниженное значение уровня C14:0 ($p<0,05$), более низкое ($p<0,05$) значение C14:0/C16:0, следовательно, повышенное эндогенное образование C16:0. Отмечено увеличенное ($p<0,05$) значение соотношения C18:0/C18:1 $\omega 9$ в МЖТ и ЗЖТ, что свидетельствовало о пониженной активности десатуразы при синтезе $\omega 9$ НЖК. Только в МЖТ было повышенным ($p<0,05$) значение C16:0/C18:1 $\omega 9$, что говорило о непропорциональности образования и расходования C18:1 $\omega 9$. На фоне анаэробной физической нагрузки в ЗЖТ более высоким ($p<0,05$) было содержание C17:0 и Σ НасЖК нечетных, а также ЖК-субстратов СФЛ. Там же оказался повышенным ($p<0,05$) уровень ЖК-субстратов мембран и сниженным уровень ЖК-субстратов энергии. В ПЖТ при физической нагрузке более низкими ($p<0,05$) были Σ ПНЖК и значение их соотношения с C18:1 $\omega 9$. Только в ЗЖТ было увеличено ($p<0,05$) содержание ЖК-субстратов витамина F и соотношение витамина F/C18:1 $\omega 9$. В МЖТ и ЗЖТ отмечалось пониженное ($p<0,05$) значение Σ МНЖК. В то же время значение соотношения МНЖК и ПНЖК было сниженным ($p<0,05$) в ПЖТ, а МНЖК и ЖК-субстратов витамина F – увеличенным ($p<0,05$) в ЗЖТ. В МЖТ было отмечено более низкое ($p<0,05$) значение суммы НЖК и более высокое ($p<0,05$) – суммы НасЖК. Повышенным оказалось ($p<0,05$) значение НасЖК/МНЖК. В то же время было отмечено более низкое ($p<0,05$) значение ИН.

Обсуждение. Проведенное исследование показало, что регулярная анаэробная физическая нагрузка на фоне питания повышенной калорийности оказала наибольшее влияние на содержание ЖК и их комплексы в МЖТ. Было отмечено снижение НЖК и увеличение НасЖК, что приводило к снижению значения ИН. При этом известно, что увеличение уровня НасЖК в адипоцитах уменьшает скорость липолиза ЖК [10]. Уменьшилось содержание МНЖК преимущественно за счет $\omega 9$ НЖК, а именно C18:1 $\omega 9$. Снизилась активность десатуразы при ее образовании. Известно, что триглицериды, в составе которых преобладают МНЖК, более чувствительны к действию липаз [11]. Данное снижение может

быть вызвано усиленным потреблением МНЖК для обеспечения функции локомоции. Увеличилось процентное содержание НасЖК четных за счет C16:0 и C18:0. Соотношение НасЖК/МНЖК сместилось в сторону НасЖК. Данные ЖК необходимы в организме для энергетического обеспечения тканей [12], а также реализации структурной функции, поскольку входят в состав мембран клеток [13].

Менее выраженным, но также существенным было влияние регулярной анаэробной физической нагрузки на ЖК в ЗЖТ. Отмечено увеличение содержания ЖК-субстратов СФЛ. Повысилось содержание ЖК-субстратов мембран и снизилось содержание субстратов энергии. Это могло быть отражением повышенного β -окисления данных ЖК. При этом повышение жидкостности мембран клеток улучшает чувствительность тканей к действию инсулина [14]. Было отмечено увеличение содержания ЖК-субстратов витамина F за счет увеличения уровня $\omega 6$ НЖК, а именно C18:2. Известно, что повышение содержания данной НЖК может стимулировать развитие воспаления [15]. Эти ЖК относятся к эссенциальным НЖК и не могут быть синтезированы в организме человека при поступлении извне с пищей [16]. Снизилось содержание МНЖК за счет $\omega 9$ НЖК, в частности C18:1 $\omega 9$. Уменьшилось содержание $\omega 7$ НЖК за счет C16:1 $\omega 7$. Было отмечено снижение активности работы десатураз при эндогенном образовании $\omega 7$ и $\omega 9$ НЖК. Известно, что при дефиците экзогенных ПНЖК эндогенно образованные $\omega 7$ и $\omega 9$ НЖК могут замещать их в аннулярных липидах мембран и являться субстратами синтеза эйкозаноидов с отличными, менее благоприятными биологическими свойствами [17]. Кроме того, МНЖК являются более эффективными антиоксидантами, чем α -токоферол, каротин и аскорбиновая кислота [18]. В данном случае мы отмечаем снижение антиоксидантной защиты ЖК-субстратов витамина F. Повысился уровень НасЖК нечетных за счет C17:0. Увеличилось образование C16:0 НасЖК. Известно, что C16:0 НасЖК является конечным продуктом биосинтеза ЖК в цитоплазме [19] с дальнейшей элонгацией в эндоплазматиче-

ском ретикулуме [20]. Баланс МНЖК и НасЖК сместился в сторону НасЖК. Как уже говорилось, МНЖК являются более предпочтительным субстратом для β -окисления, чем НасЖК.

В свою очередь в ПЖТ анаэробная физическая нагрузка на фоне питания повышенной калорийности понизила содержание ПНЖК. Уменьшилось их соотношение с МНЖК и С18:1 ω 9. Это могло свидетельствовать об увеличении антиоксидантной защиты ПНЖК. В то же время увеличение содержания ПНЖК из эндогенно образованных МНЖК повышает микровязкость клеточных мембран и снижает отрицательный заряд на их поверхности [21]. При этом нарушается функционирование трансмембранных белков [22]. Данное сниже-

ние произошло за счет ω 3 НЖК. При этом уменьшилось содержание С18:3 и С20:5 ω 3 НЖК. Несмотря на снижение С20:3 ω 6 НЖК, баланс ω 3/ ω 6 сместился в сторону ω 6 НЖК. Известно, что ω 3 и ω 6 ПНЖК конкурируют между собой, метаболизируясь одними и теми же ферментами [23]. Также известно, что С20:3 ω 6 НЖК являются биомаркером резистентности к инсулину [24].

Заключение. Таким образом, исследование показало, что регулярная анаэробная физическая нагрузка на фоне питания повышенной калорийности наиболее выраженное влияние продемонстрировала в отношении жирных кислот в висцеральной жировой ткани, а именно в мезентеральной и забрюшинной жировой ткани.

Литература

1. *Vegiopoulos A., Rohm M., Herzig S.* Adipose tissue: between the extremes. *EMBO J.* 2017; 36 (4): 1999–2017.
2. *Petridou A., Nikolaidis M.G., Matsakas A.* Effect of exercise training on the fatty acid composition of lipid classes in rat liver, skeletal muscle, and adipose tissue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2005; 94 (1–2): 84–92.
3. *Tchkonina T., Thomou T., Zhu Y., Karagiannides I., Pothoulakis C., Jensen M.D., Kirkland J.L.* Mechanisms and metabolic implications of regional differences among fat depots. *Cell Metab.* 2013; 17 (5): 644–656.
4. *Thompson D., Karpe F., Lafontan M., Frayn Kh.* Physical Activity and Exercise in the Regulation of Human Adipose Tissue Physiology. *Physiological Reviews.* 2012; 92 (1): 157–191. DOI: 10.1152/physrev.00012.2011.
5. *Shen Y., Xu X., Yue K., Xu G.* Effect of different exercise protocols on metabolic profiles and fatty acid metabolism in skeletal muscle in high-fat diet-fed rats. *Obesity (Silver Spring).* 2015; 23 (5): 1000–1006.
6. *Costill D.L., Wilmore J.H., Kenney W.L.* Physiology of sport and Exercise. Champaign: Human Kinetics; 2012. 621.
7. *Gibala M.J., Little J.P., Macdonald M.J., Hawley J.A.* Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J. Physiol.* 2012; 590: 1077–1084.
8. *Kim Jong-Hee, Park Y.* Combined effects of phytochemicals and exercise on fatty acid oxidation. *J. Exerc. Nutrition Biochem.* 2016; 20 (4): 20–26. DOI: 10.20463/jenb.2016.0053.
9. *Folch J.* A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957; 226 (1): 497–509.
10. *Watt M.J., Spriet L.L.* Triacylglycerol lipases and metabolic control: implications for health and disease. *Am. J. Physiol. Metab.* 2010; 299: 162–168.
11. *Gillingham L.G., Gustafson J.A., Han S.Y.* High-oleic rapeseed (canola) and flaxseed oils modulate serum lipids and inflammatory biomarkers in hyper cholesterolaemic subjects. *Br. J. Nutr.* 2011; 105 (3): 417–427.
12. *Тумов В.Н.* Транспорт липопротеидами насыщенных и полиеновых жирных кислот. *Успехи современной биологии.* 1997; 117 (2): 240–253.
13. *Болдырев А.А., Кяйваряйнен Е.И., Илюха В.А.* Биомембранология: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во Кар НЦ РАН; 2006. 226.
14. *Frayn K.N., Hodson L., Karpe F.* Dietary fat and insulin sensitivity. *Diabetologia.* 2010; 53 (5): 799–801.
15. *Aldámiz-Echevarría L., Prieto J., Andrade F., Elorz J., Sanjurjo P., Soriano J.R.* Arachidonic Acid Content in Adipose Tissue Is Associated With Insulin Resistance in Healthy Children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2007; 44 (1): 77–83.

16. Северин Е.С., ред. Биохимия: учебник. 5-е изд., испр. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2016. 768.
17. Grosfeld A., Zilberfarb V., Turban S., Andre J., Guerre-Millo M., Issad T. Hypoxia increases leptin expression in human PAZ6 adipose cells. *Diabetologia*. 2002; 45: 527–530.
18. Тумов В.Н., Лисицын Д.М., Разумовский С.Д. Методические вопросы и диагностическое значение определения перекисного окисления липидов в липопротеинах низкой плотности. Олеиновая кислота как биологический антиоксидант (обзор литературы). *Клиническая лабораторная диагностика*. 2005; 4: 3–10.
19. Smidt K. Zinc-transporter genes in human visceral and subcutaneous adipocytes: lean versus obese. *Mol. Cell Endocrinol*. 2007; 264 (1/2): 68–73.
20. Peter A., Weigert C., Staiger H. Individual stearyl-coadesaturase 1 expression modulates endoplasmic reticulum stress and inflammation in human myotubes and is associated with skeletal muscle lipid storage and insulin sensitivity in vivo. *Diabetes*. 2009; 58: 1757–1765.
21. Геннис Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функция. Москва: Мир; 1997. 624.
22. Heitzer T., Schlinzig T., Krohn K. Endothelial dysfunction, oxidative stress, and risk of cardiovascular events in patients with coronary artery disease. *Circulation*. 2001; 104: 2673–2678.
23. Hwang D. Fatty acids and immune responses – a new perspective in searching for clues to mechanisms. *Annu. Rev. Nutr*. 2000; 20: 431–456.
24. Ni Y., Zhao L., Yu H., Ma X., Bao Y., Rajani C. Circulating unsaturated fatty acids delineate the metabolic status of obese individuals. *EBioMedicine*. 2015; 2 (10): 1513–1522.

FATTY ACID CONTENTS IN RAT ADIPOSE TISSUES UNDER ANAEROBIC EXERCISE AND HIGH-CALORIE DIETS

**I.Yu. Yakimovich¹, M.Yu. Kotlovskiy², S.V. Gusakova¹, V.V. Ivanov¹, V.N. Vasil'ev¹,
A.M. Dygay², I.V. Dolgalev¹, A.V. Panimaskina¹, L.Yu. Kotlovskaya², Yu.O. Samoylova¹**

¹*Siberian State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Tomsk, Russia;*

²*Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine,
Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

e-mail: iness2501@yandex.ru

The objective of the paper is to study the effects of anaerobic exercise on fatty acids percentage in adipose tissues of different localization under high-calorie diets in rats.

Materials and Methods. The authors examined Wistar rats under high calorie diets (32 % fat content).

In the first group the animals were not exposed to any physical exercise. In the second group rats were exposed to anaerobic physical activity, namely swimming. The percentage of 24 fatty acids (FA) and the value of 14 integrative indicators (complexes) in the depot of visceral and subcutaneous adipose tissues were determined using chromatography-mass spectrometry (Agilent Technologies, USA).

Results. Anaerobic exercise led to an increase in saturated FAs in the mesenteric adipose tissues and to a decrease in unsaturated FAs, as well as to a decrease in the unsaturation index; an increase in the retroperitoneal adipose tissue of the FA sphingophospholipid substrates, FA membrane substrates, a decrease in the energy substrates, an increase of vitamin F FA substrates due to $\omega 6$ of unsaturated FAs. At the same time, a decrease in the amount of polyunsaturated FAs was observed in the subcutaneous depot, and the balance between $\omega 3/\omega 6$ shifted towards $\omega 6$ of unsaturated FAs. In the mesenteric and retroperitoneal adipose tissues, there was a decrease in monounsaturated FAs due to $\omega 9$ of unsaturated FAs, and the ratio of saturated FAs/monounsaturated FAs shifted towards saturated FAs. Only in retroperitoneal adipose tissues there was a decrease in $\omega 7$ of saturated FAs due to C16: 1 $\omega 7$.

Conclusion. Regular anaerobic exercise and a high-calorie diet showed the most pronounced effect on FAs in visceral adipose tissues, namely in mesenteric and retroperitoneal tissues.

Keywords: fatty acids, fatty acid complexes, adipose tissues, anaerobic exercise, high-calorie diet.

References

1. Vegiopoulos A., Rohm M., Herzig S. Adipose tissue: between the extremes. *EMBO J*. 2017; 36 (4): 1999–2017.

2. Petridou A., Nikolaidis M.G., Matsakas A. Effect of exercise training on the fatty acid composition of lipid classes in rat liver, skeletal muscle, and adipose tissue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2005; 94 (1–2): 84–92.
3. Tchkonja T., Thomou T., Zhu Y., Karagiannides I., Pothoulakis C., Jensen M.D., Kirkland J.L. Mechanisms and metabolic implications of regional differences among fat depots. *Cell Metab.* 2013; 17 (5): 644–656.
4. Thompson D., Karpe F., Lafontan M., Frayn Kh. Physical Activity and Exercise in the Regulation of Human Adipose Tissue Physiology. *Physiological Reviews.* 2012; 92 (1): 157–191. DOI: 10.1152/physrev.00012.2011.
5. Shen Y., Xu X., Yue K., Xu G. Effect of different exercise protocols on metabolic profiles and fatty acid metabolism in skeletal muscle in high-fat diet-fed rats. *Obesity (Silver Spring).* 2015; 23 (5): 1000–1006.
6. Costill D.L., Wilmore J.H., Kenney W.L. *Physiology of sport and Exercise*. Champaign: Human Kinetics; 2012. 621.
7. Gibala M.J., Little J.P., Macdonald M.J., Hawley J.A. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J. Physiol.* 2012; 590: 1077–1084.
8. Kim Jong-Hee, Park Y. Combined effects of phytochemicals and exercise on fatty acid oxidation. *J. Exerc. Nutrition Biochem.* 2016; 20 (4): 20–26. DOI: 10.20463/jenb.2016.0053.
9. Folch J. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957; 226 (1): 497–509.
10. Watt M.J., Spriet L.L. Triacylglycerol lipases and metabolic control: implications for health and disease. *Am. J. Physiol. Metab.* 2010; 299: 162–168.
11. Gillingham L.G., Gustafson J.A., Han S.Y. High-oleic rapeseed (canola) and flaxseed oils modulate serum lipids and inflammatory biomarkers in hyper cholesterolaemic subjects. *Br. J. Nutr.* 2011; 105 (3): 417–427.
12. Titov V.N. Transport lipoproteidami nasyshchennykh i polienovykh zhirnykh kislot [Lipoprotein transport of saturated and polyene fatty acids]. *Uspekhi sovremennoy biologii.* 1997; 117 (2): 240–253 (in Russian).
13. Boldyrev A.A., Kyavyayaynen E.I., Ilyukha V.A. *Biomembranologiya: uchebnoe posobie* [Biomembranology: manual]. Petrozavodsk: Izd-vo Kar NTs RAN; 2006. 226 (in Russian).
14. Frayn K.N., Hodson L., Karpe F. Dietary fat and insulin sensitivity. *Diabetologia.* 2010; 53 (5): 799–801.
15. Aldámiz-Echevarría L., Prieto J., Andrade F., Elorz J., Sanjurjo P., Soriano J.R. Arachidonic Acid Content in Adipose Tissue Is Associated With Insulin Resistance in Healthy Children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2007; 44 (1): 77–83.
16. Severin E.S., ed. *Biokhimiya: uchebnik* [Biochemistry: textbook]. 5-e izd., ispr. i dop. Moscow: GEOTAR-Media; 2016. 768 (in Russian).
17. Grosfeld A., Zilberfarb V., Turban S., Andre J., Guerre-Millo M., Issad T. Hypoxia increases leptin expression in human PAZ6 adipose cells. *Diabetologia.* 2002; 45: 527–530.
18. Titov V.N., Lisitsyn D.M., Razumovskiy S.D. Metodicheskie voprosy i diagnosticheskoe znachenie opredeleniya perekisnogo okisleniya lipidov v lipoproteinakh nizkoy plotnosti. Oleinovaya kislota kak biologicheskii antioksidant (obzor literatury) [Methodological issues and diagnostic value of lipid peroxidation detection in low density lipoproteins. Oleic acid as a biological antioxidant (review)]. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika.* 2005; 4: 3–10 (in Russian).
19. Smidt K. Zinc-transporter genes in human visceral and subcutaneous adipocytes: lean versus obese. *Mol. Cell Endocrinol.* 2007; 264 (1/2): 68–73.
20. Peter A., Weigert C., Staiger H. Individual stearyl-coadesaturase 1 expression modulates endoplasmic reticulum stress and inflammation in human myotubes and is associated with skeletal muscle lipid storage and insulin sensitivity in vivo. *Diabetes.* 2009; 58: 1757–1765.
21. Gennis R. Biomembrany. *Molekulyarnaya struktura i funktsiya* [Biomembranes. Molecular structure and function]. Moscow: Mir; 1997. 624 (in Russian).
22. Heitzer T., Schlinzig T., Krohn K. Endothelial dysfunction, oxidative stress, and risk of cardiovascular events in patients with coronary artery disease. *Circulation.* 2001; 104: 2673–2678.
23. Hwang D. Fatty acids and immune responses – a new perspective in searching for clues to mechanisms. *Ann. Rev. Nutr.* 2000; 20: 431–456.
24. Ni Y., Zhao L., Yu H., Ma X., Bao Y., Rajani C. Circulating unsaturated fatty acids delineate the metabolic status of obese individuals. *EBioMedicine.* 2015; 2 (10): 1513–1522.

УДК 612.1

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-114-124

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПЕРВОКУРСНИКОВ РАЗНЫХ ЭТНИЧЕСКИХ ГРУПП С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ МОЩНОСТИ СУММАРНОГО СПЕКТРА

Аль-Шаммари Мохаммед Ясим Исмаел

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
г. Белгород, Россия

e-mail:mhammd_88@mail.ru

Исследование особенностей активности центральных и автономных механизмов регуляции сердечного ритма как показателей адаптации к учебной деятельности студентов разных этнических групп имеет теоретическую и практическую значимость.

Цель. Оценка участия центральных и автономных механизмов в регуляции сердечного ритма у студентов-первокурсников разных этнических групп по параметрам и структуре мощности суммарного спектра вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Материалы и методы. Проведены два этапа исследования 120 студентов (21–23 года) трех этнических групп (арабской, латиноамериканской, русской) в октябре и апреле 2016–2017 учебного года. Используя программный модуль «Поли-Спектр-Ритм», записывали ЭКГ в течение 5 мин, оценивали спектральные характеристики параметров ВСР у каждого студента, распределяя их по подгруппам в каждой этнической группе с учетом ведущего типа автономной регуляции сердечного ритма, определяемого у них по индивидуальным значениям индекса напряжения и абсолютной мощности очень низких частот.

Результаты. У студентов русской группы на обоих этапах доминировал третий тип автономной регуляции сердечного ритма (СР), в арабской и латиноамериканской группах в равной мере определялись третий (УПАР) или четвертый (ВПАР) типы. У латиноамериканских студентов на обоих этапах был представлен первый тип с умеренным проявлением центральной регуляции (УПЦР) сердечного ритма. У всех этнических групп студентов с УПАР и ВПАР сердечного ритма структура мощности частотных компонентов суммарного спектра (ТР) отклонялась от нормы.

Выводы. В процессе обучения у арабской группы первокурсников с УПАР сердечного ритма исходно доминирующий центральный контур с выраженным проявлением симпатикотонии незначительно ослаб, у латиноамериканской – усилилась парасимпатикотония, у русской – возросла симпатикотония.

У испытуемых с ВПАР сердечного ритма исходный уровень парасимпатикотонии, проявляясь на фоне высокого напряжения центрального контура регуляции ритма сердца, способствовал развитию стресса у арабских и русских студентов и срыву механизмов адаптации у латиноамериканцев.

Ключевые слова: сердечный ритм, регуляция сердечного ритма, этнические группы, структура мощности суммарного спектра.

Введение. Исследование особенностей активности центральных и автономных механизмов формирования и регуляции сердечного ритма (СР) как объективного показателя функционального состояния миокарда у студентов разных этнических групп в условиях учебной деятельности имеет теоретическую и практическую значимость [1–4]. Обучение в вузе сопряжено с высокими интеллектуальными и психоэмоциональными нагрузками, способными не только вызывать у студентов

функциональное напряжение активности регуляторных систем организма, но и снизить компенсаторно-адаптивные возможности [5, 6].

Спектральный анализ вариабельности СР (ВСР) как информативный диагностический метод позволяет изучать ритмичность и напряженность сокращений миокарда, его текущий статус и особенности реагирования на любые сдвиги параметров внешней или внутренней среды организма [9–12]. Показатели ВСР отражают ритмичность работы миокар-

да, функциональный статус сердечно-сосудистой системы и всего организма как совокупный результат взаимодействия механизмов нервной системы, ее центральных и высших автономных отделов [4, 5, 7, 8].

Суммарная мощность спектра (TP) СР состоит из трех компонентов: очень низко частотного (VLF), низкочастотного (LH, вазомоторного) и высокочастотного (HF, парасимпатического) [13]. В норме структуру СР можно описать следующим образом: $HF > LF > VLF$ [6]. Однако в условиях высоких физических и психических нагрузок происходят различные отклонения [3, 14, 15], отражающие степень участия центральных и автономных структур в регуляции ВСР [16–18].

Цель исследования. Оценка участия центральных и автономных механизмов в регуляции сердечного ритма у студентов-первокурсников разных этнических групп.

Материалы и методы. В НИУ «БелГУ» на базе лаборатории «Физиология адаптационных процессов» кафедры биологии проведены два этапа исследования: 1-й – в октябре, 2-й – в апреле 2016–2017 учебного года. Обследовано 120 первокурсников в возрасте 21–23 лет трех этнических групп: арабской (I), латиноамериканской (II), русской (III). Все студенты были ознакомлены с целью исследования и дали согласие на обработку их персональных данных согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [19].

Используя программный модуль «Поли-Спектр-Ритм» (ООО «Нейрософт», г. Иваново), записывали ЭКГ испытуемых в течение 5 мин [13], анализировали спектральные параметры ВСР: абсолютную мощность суммарного спектра (TP, mc^2), очень низких (VLF, mc^2), низких (LF, mc^2), высоких (HF, mc^2) частот; соотношение мощностей компонентов спектра (LF/HF); относительную мощность компонентов TP – высокочастотного (%HF), низкочастотного (%LF) и очень низкочастотного (%VLF); индексы напряжения (ИН, усл. ед.) и централизации (IC, усл. ед.) [20]. У всех студентов по индивидуальным значениям ИН и мощности VLF-спектра определяли тип автономной регуляции СР [4, 17, 21], учитывая, что для первого типа (ИН > 100 усл. ед.,

VLF > 240 mc^2) свойственна умеренно преобладающая центральная регуляция (УПЦР) СР; для второго (ИН > 100 усл. ед., VLF < 240 mc^2) – выраженное преобладание центральной регуляции СР (ВПЦР); для третьего (ИН – 30–100 усл. ед., VLF > 240 mc^2) – умеренно преобладающая автономная регуляция СР (УПАР); для четвертого (ИН – 30–100 усл. ед., VLF > 240 mc^2 , TP > 20 000 mc^2) – выраженное преобладание автономной регуляции СР (ВПАР) [6, 21].

Оценка направленности процессов адаптации и функционального статуса систем автономной регуляции СР у студентов разных этнических групп в новых для них условиях обучения и проживания является сложной задачей. Поэтому мы не только изучали структурные основы формирования сердечного ритма, но и анализировали симпатико-парасимпатические механизмы регуляции СР с применением различных методов, в т.ч. математических расчетов интегральных индексов, характеризующих вегетативное равновесие и сопряженность функций автономных и центральных механизмов регуляции в организме. По формуле Рида у студентов определяли процент отклонения (ПО, %) основного обмена от нормы:

$$ПО = 0,75 \cdot (ЧСС + 0,74 ПД) - 72,$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, $мин^{-1}$, ПД – пульсовое давление, мм рт. ст.; вегетативный индекс Кердо (ВИК) по формуле [6]:

$$ВИК = 1 - АДД / ЧСС,$$

где АДД – артериальное давление диастолическое, мм рт. ст., ЧСС – частота сердечных сокращений, $мин^{-1}$. У студентов также оценивали уровень испытываемого стресса (УИС, усл. ед.) по формуле Ю.Р. Шейх-Заде [6]:

$$УИС = 0,000126 \cdot ТЧСС \cdot ПД \cdot m^{1/3},$$

где ТЧСС – текущая частота сердечных сокращений, $мин^{-1}$, ПД – пульсовое артериальное давление, мм рт. ст., m – масса тела, кг.

Полученный цифровой материал обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакета компьютерных программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение. На обоих этапах исследования в этнической группе арабских студентов по индивидуальным кри-

териям оценки параметров автономной регуляции СР доминировали 2 подгруппы: с третьим (УПАР) и четвертым (ВПАР) типами регуляции СР (рис. 1). И только у одного студента на 1-м и 2-м этапах обнаружил себя первый тип (УПЦР) СР с наиболее низкими значениями спектральных параметров (TP – 992 и 650 мс²; HF – 132 и 81 мс², LF – 421 и 261 мс², VLF – 454 и 308 мс², HF% – 11,9 и 9,2; LF% – 42,4 и 50,5; VLF% – 45,7 и 40,0;

LF/HF – 11,9 и 6,2; IC – 1,18 и 3,45 усл. ед. соответственно). Студенты с ВПЦР СР в этой группе отсутствовали.

На 1-м этапе у 50 % студентов с УПАР СР параметры суммарной мощности ТР-спектра и его компонентов соответствовали норме. У студентов с ВПАР СР они превышали верхнюю границу нормы: ТР-спектр – в 3 раза, VLF- и LF-спектры – в 2 и 4 раза (табл. 1).

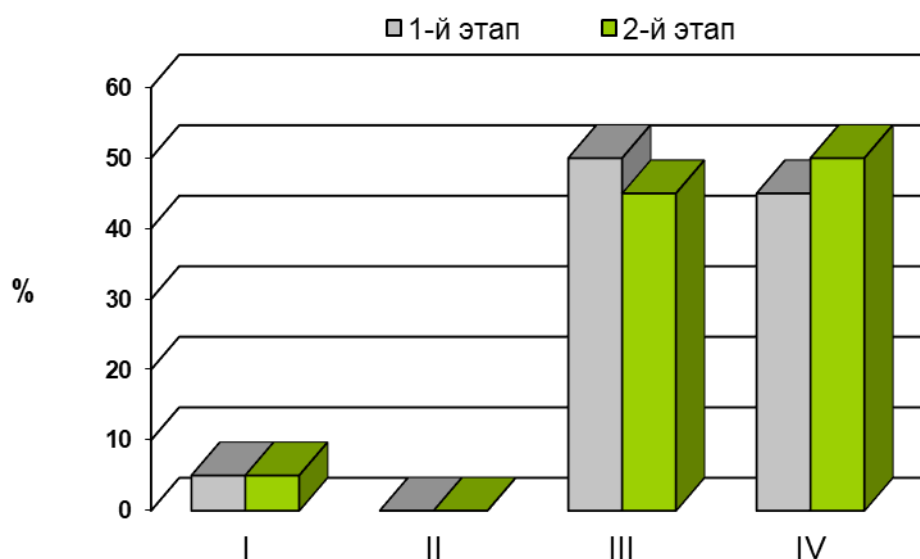


Рис. 1. Распределение студентов арабской этнической группы с учетом типа автономной регуляции сердечного ритма: I тип – УПЦР, II тип – ВПЦР, III тип – УПАР, IV тип – ВПАР, %

На 2-м этапе у подгруппы студентов с УПАР СР суммарная мощность ТР-спектра повысилась, сохраняясь в пределах нормы. У подгруппы студентов с ВПАР СР она снизи-

лась за счет снижения мощности волн всех диапазонов, особенно VLF-спектра, но, несмотря на это, превышала норму более чем в 2 раза.

Таблица 1

Динамика спектральных параметров ВСР с учетом типов его автономной регуляции у этнической группы арабских студентов

Этапы	ТР, мс ²	HF, мс ²	LF, мс ²	VLF, мс ²	HF, %	LF, %	VLF, %	LF/HF, усл. ед.	IC, усл. ед.
Третий тип регуляции СР (УПАР)									
1-й	3716±407	808±113	1268±210	1641±281	23,0±4,0	33,10±2,86	43,90±4,75	2,010±0,531	1,50±0,29
2-й	3935±677	1013±171	1404±380	1420±325	27,90±3,53	33,80±3,84	38,30±5,83	1,320±0,186	2,20±0,55
Четвертый тип регуляции СР (ВПАР)									
1-й	10913±1378	3634±374	3116±792	3705±628	34,80±2,84	31,50±2,44	33,50±3,71	0,960±0,136	2,30±0,35
2-й	9760±1773	4486±1383	2911±500	2364±1773	42,20±4,79	31,60±3,26	26,50±5,14	0,850±0,124	4,20±1,03

На обоих этапах исследования структура мощности компонентов ТР была одинакова: $VLF > LF > HF$, что показывает усиленное влияние центральной и симпатической активности на СР. На 2-м этапе мощность VLF-спектра снизилась на фоне усиления влияния парасимпатикотонии на модуляцию СР.

У студентов с четвертым типом регуляции СР на обоих этапах мощность ТР-спектра и его компонентов превышала норму. На 1-м этапе его структура была следующей: $VLF > HF > LF$, что указывало на высокое напряжение высших вегетативных центров регуляции активности подкоркового сердечно-сосудистого центра на фоне усиленного вагусного влияния на модуляцию СР. На 2-м этапе структура мощности компонентов ТР изменилась: $HF > LF > VLF$. Повышение процента HF-волн при снижении VLF-волн соответствовало усилению вагусного влияния на СР. У обеих подгрупп студентов процент LF-волн указывал на оптимальную активность вазомоторного центра [13], а сдвиги мощности

его компонентов в структуре ТР-спектра – на оптимальное проявление активности гормонально-регуляторных процессов под контролем высшего подкоркового автономного сердечно-сосудистого центра [4, 8, 21].

У студентов с УПАР и ВПАР СР значения индексов LF/HF указывали на проявление нормотонии на 1-м этапе и усиление парасимпатикотонии на 2-м. По значению IC у студентов с четвертым типом на 2-м этапе преобладала активность сегментарного контура регуляции СР, отражающая проявление у них стресс-состояния. У остальных студентов с третьим или четвертым типами регуляции СР на обоих этапах значения IC указывали на умеренное преобладание центрального контура регуляции СР над автономным.

Распределение в латиноамериканской группе студентов на 3 подгруппы с учетом свойственного для них типа автономной регуляции СР представлено на рис. 2. У 50 % латиноамериканских студентов на 1-м этапе преобладал третий тип СР, а на 2-м – четвертый.

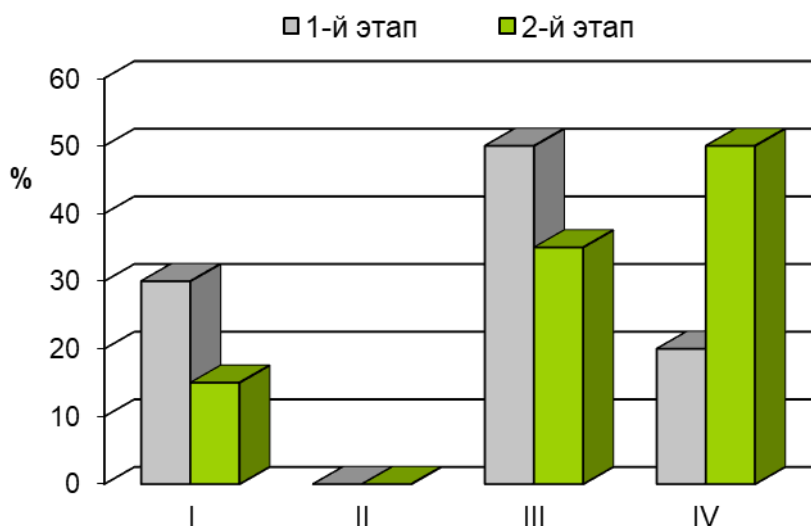


Рис. 2. Распределение студентов латиноамериканской этнической группы с учетом типа автономной регуляции сердечного ритма:

I тип – УПЦР, II тип – ВПЦР, III тип – УПАР, IV тип – ВПАР, %

Первый тип регуляции СР был выявлен на 1-м этапе у 30 % студентов ($TP - 1468 \pm 202 \text{ мс}^2$, $HF - 233 \pm 61 \text{ мс}^2$, $LF - 604 \pm 128 \text{ мс}^2$, $VLF - 630 \pm 95 \text{ мс}^2$, $HF\% - 16,5$; $LF\% - 40,0$; $VLF\% - 44,0$; $LF/HF - 3,7$ усл. ед., $IC - 1,52$ усл. ед.), а на 2-м этапе – у 15 % ($TP - 1493 \pm 431 \text{ мс}^2$,

$HF - 245 \pm 77 \text{ мс}^2$, $LF - 443 \pm 159 \text{ мс}^2$, $VLF - 805 \pm 301 \text{ мс}^2$, $HF\% - 20,6$; $LF\% - 28,9$; $VLF\% - 50,5$; $LF/HF - 2,08$ усл. ед., $IC - 2,35$ усл. ед.). Показатели суммарной мощности спектра ТР и его компонентов на обоих этапах были близки по значениям и снижены против нор-

мы более чем в 2 раза. У студентов с УПАР СР в суммарной мощности ТР-спектра преобладала мощность волн VLF-диапазона, отражая постнагрузочный энергодефицит и стресс-состояние.

У первой подгруппы студентов структура компонентов суммарного спектра ТР описывалась как VLF>LF>HF на обоих этапах, т.е. отклонялась от нормы, отражая влияние высших автономных центров на подкорковый сердечно-сосудистый центр и связь автономных уровней регуляции кровообращения с надсегментарными. По соотношению LF/HF у студентов на 1-м этапе доминировала симпатикотония с психоэмоциональным напряжением, а на 2-м – нормотония со свойственной ей стабилизацией физиологического статуса организма. Значение IC указывало на преобладание активности сегментарного контура регуляции

СР на фоне оптимального проявления функций системы кровообращения на 2-м этапе.

У студентов с УПАР СР мощность ТР на 1-м этапе была в пределах нормы, а на 2-м этапе превышала ее в 1,6 раза (табл. 2). На 1-м этапе формирование СР находилось под контролем высокой симпатической активности, а на 2-м этапе – парасимпатической. Мощности VLF- и LF-спектров на 1-м этапе соответствовали норме, на 2-м превышали ее в 1,2 и 1,6 раза, указывая на усиление психоэмоционального возбуждения при активации центральных и подкорковых отделов ВНС. Мощность HF-спектра на фоне проявления эмоционального стресса превышала норму в 3,8 и 7,7 раза соответственно на 1-м и 2-м этапах, оказывая выраженное вагусное влияние на СР, направленное на защиту миокарда от перенапряжения (табл. 2).

Таблица 2

Динамика спектральных параметров ВСР с учетом типов его автономной регуляции у этнической группы латиноамериканских студентов

Этап	ТР, мс ²	HF, мс ²	LF, мс ²	VLF, мс ²	HF, %	LF, %	VLF, %	LF/HF, усл. ед.	IC, усл. ед.
Третий тип регуляции СР (УПАР)									
1-й	3912±373	1150±138	1236±208	1526±260	31,60±4,93	30,60±3,38	37,90±5,11	1,200±0,223	2,9±1,3
2-й	5374±534	1593±226	1856±189	1926±568	32,80±6,27	34,80±2,48	32,3±6,3	1,46±0,37	2,90±0,72
Четвертый тип регуляции СР (ВПАР)									
1-й	8097±2562	2754±771	2551±566	3660±1906	35,80±10,81	29,10±4,17	35,1±14,05	1,060±0,281	4,00±1,82
2-й	14275±2710	5433±1191	4363±681	4479±1140	36,20±3,23	34,10±3,32	29,7±3,17	1,050±0,158	2,80±0,52

Выраженная мощность VLF-спектра и преобладающий в частотном спектре процент ее волн на 1-м этапе указывали на влияние высших вегетативных центров на активность сердечно-сосудистого центра [9, 17]. На обоих этапах высокий процент HF-волн отражал усиленное вагусное влияние на формирование СР, а процент LF-волн соответствовал норме и умеренной активности симпатического отдела вазомоторного центра. Структура мощности компонентов ТР на обоих этапах отклонялась от нормы: VLF>LF>HF, указывая на приоритет центральной регуляции формирования СР, наиболее выраженной на 2-м этапе (табл. 2).

Суммарная мощность ТР у студентов с четвертым типом (ВПАР) СР превышала норму в 2 и 3 раза соответственно на 1-м и 2-м этапах, отражая нарастающее нейрогуморальное гипоталамо-гипофизарное и корковое усиленное влияние на СР. Процент HF- и VLF-волн превышал норму, указывая на высокое напряжение функций обоих отделов ВНС (табл. 2). Так, на 1-м и 2-м этапах процент HF-волн был выше нормы в 3,6 и 3,0 раза, LF-волн – в 2,4 и 1,3 раза соответственно. У студентов на обоих этапах значения LF/HF и IC говорили о выраженном симпатическом влиянии на модуляцию СР. У студентов с ВПАР СР мощность ТР и структура его компонентов откло-

нялась от нормы: $VLF > HF > LF$ и $HF > VLF > LF$ соответственно на 1-м и 2-м этапах.

Распределение студентов русской этнической группы с учетом проявления у них типа автономной регуляции СР представлено на рис. 3. На обоих этапах у них были представлены студенты со всеми типами авто-

номной регуляции СР. На 1-м этапе первый тип (УПЦР) СР был выявлен только у одного студента, а на 2-м этапе – у 25 % ($TP - 1468 \pm 202 \text{ мс}^2$, $HF - 233 \pm 61 \text{ мс}^2$, $LF - 604 \pm 128 \text{ мс}^2$, $VLF - 630 \pm 95 \text{ мс}^2$, $HF\% - 44$, $LF\% - 31$, $VLF\% - 25$; $LF/HF - 0,70$ усл. ед., $IC - 3,10$ усл. ед.).

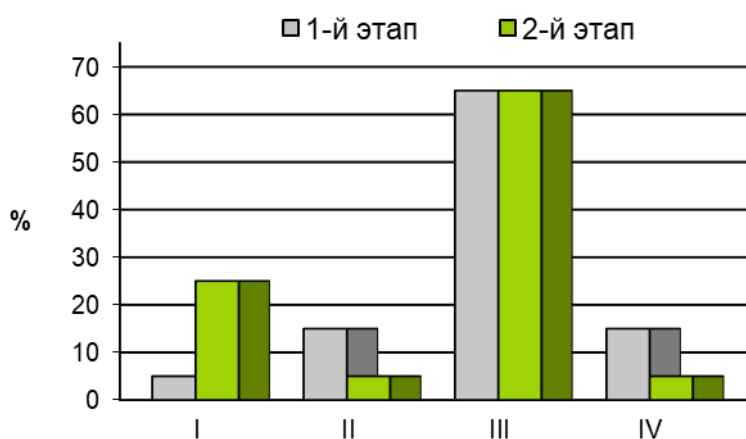


Рис. 3. Распределение студентов русской этнической группы с учетом типа автономной регуляции сердечного ритма: I тип – УПЦР, II тип – ВПЦР, III тип – УПАР, IV тип – ВПАР, %

Второй тип (ВПЦР) СР был выявлен на 1-м этапе у 15 % студентов ($TP - 1493 \pm 431 \text{ мс}^2$, $HF - 245 \pm 77 \text{ мс}^2$, $LF - 443 \pm 159 \text{ мс}^2$, $VLF - 805 \pm 301 \text{ мс}^2$, $HF\% - 68$, $LF\% - 24$, $VLF\% - 8$, $LF/HF - 0,36$ усл. ед., $IC - 11,4$ усл. ед.), а на 2-м этапе – лишь у одного студента, что указывало на снижение высокого функционального напряжения центральных структур регуляции активности отделов ВНС [15, 19].

У большей части русских студентов (65 %) преобладал третий тип (УПАР) СР. Структура суммарной мощности компонентов ТР-спектра на первом этапе у них не соответствовала норме: $LF > HF > VLF$, отражая функциональное напряжение, обусловленное симпатикотонией, но на втором этапе она соответствовала норме: $HF > LF > VLF$ (табл. 3).

Таблица 3

Динамика спектральных параметров ВСР с учетом доминирующих типов его автономной регуляции у этнической группы русских студентов

Этап	TP, мс ²	HF, мс ²	LF, мс ²	VLF, мс ²	HF, %	LF, %	VLF, %	LF/HF, усл. ед.	IC, усл. ед.
Третий тип регуляции СР (УПАР)									
1-й	6572±1472	2526±838	2816±625	1229±262	31,00±4,45	43,00±5,47	24,90±4,46	2,400±0,880	1,20±0,88
2-й	5280±512	2103±341	1577±207	1600±311	39,00±5,26	30,00±2,99	29,90±3,57	1,23±0,33	3,00±0,49
Четвертый тип регуляции СР (ВПАР)									
1-й	15252±6598	6747±3035	5414±2446	3091±1514	43,20±6,23	33,3±2,1	23,7±6,5	1,060±0,281	0,83±0,15
2-й	10988	4222	6739	628	38,5	50,8	10,2	1,35	1,4

На 1-м этапе у студентов доминировала мощность LF-спектра, говоря об усиленном влиянии на вазомоторный центр продолговатого мозга симпатической активности, определяющей модуляцию СР на фоне повышенной вагусной активности [15]. У русских студентов с четвертым типом (ВПАР) СР суммарная мощность спектра ТР на 1-м этапе превышала норму в 4,4 раза, VLF-спектра – в 1,9 раза, LF-спектра – в 2,4 раза и HF-спектра – в 9,6 раза, указывая на высокое функциональное напряжение центральных и автономных механизмов регуляции СР, но при этом структура мощности компонентов ТР-спектра соответствовала норме: HF>LF>VLF. На 2-м этапе функциональное состояние русских студентов с ВПАР СР стабилизировалось, у них снизилась суммарная мощность спектра ТР и изменилась его структура, соответствуя проявлению УПАР СР. Только у одного русского студента на 2-м этапе сохранилась ВПАР СР, так как параметры его LF- и HF-спектра превышали норму, отражая высокое стресс-напряжение, вызванное усиленной активностью автономной регуляции (табл. 3). Соответственно на 2-м этапе у студентов с УПАР процент волн HF-спектра

преобладал, процент VLF-волн соответствовал норме, а HF-волн был выше, указывая на усиленное влияние парасимпатикотонии на формирование СР. Значение LF/HF на 1-м этапе соответствовало нормотонии, а на 2-м – парасимпатикотонии (табл. 3). Значения IC на обоих этапах отмечали выраженное симпатическое воздействие на СР при доминирующем контроле центрального контура регуляции над автономным.

У русских студентов с ВПАР СР по значениям индексов IC уровень психоэмоционального стресса с преобладанием активности центрального контура регуляции СР над автономным был наиболее высоким против его проявления у арабских и латиноамериканских студентов.

Оценка средних значений ВИК показала, что на обоих этапах у арабских и русских студентов в физиологических условиях проявлялась эйтония со смещением вегетативного статуса в сторону усиления парасимпатического влияния на центральные параметры гемодинамики. У латиноамериканской группы проявлялась парасимпатикотония на первом этапе, эйтония – на втором (табл. 4).

Таблица 4

Динамика ВИК и ПО основного обмена с учетом доминирующих типов автономной регуляции сердечного ритма у этнической группы русских студентов

Этап, п	Арабская группа		Латиноамериканская группа		Русская группа	
	ВИК, усл. ед.	ПО, %	ВИК, усл. ед.	ПО, %	ВИК, усл. ед.	ПО, %
Третий тип регуляции СР (УПАР)						
1-й, n=10	-7,30±9,49	7,34±3,03	-15,40±7,26	0,47±2,02	-6,90±2,63	4,90±2,13
2-й, n=9	-4,11±3,73	9,60±2,92	0,23±5,09	11,10±2,61	-7,70±3,73	6,10±1,52
Четвертый тип регуляции СР (ВПАР)						
1-й, n=9	-17,70±4,55	3,30±2,92	-5,00±6,63	5,60±3,67	-14,1±4,7	2,6±1,4
2-й, n=10	-13,6±3,5	5,01±2,47	-7,30±4,14	6,45±2,40	-14,1±4,7	2,6

ПО основного обмена от нормы у всех групп студентов с УПАР на первом этапе и на втором этапе у русской группы, на обоих этапах у всех групп студентов с ВПАР соответствовал физиологической норме. Значения ПО у арабской и латиноамериканской групп на втором этапе указывали на усиление у них

обмена веществ и функционального напряжения системы кровообращения (табл. 4).

Структура распределения студентов в каждой группе по индивидуальным значениям УИС представлена на рис. 4.

Доля студентов с низким уровнем стресса в среднем составила 20 % в арабской и латино-

американской группам и 13,7 % в русской группе. У большинства студентов (54,6–63,6 %) всех групп был выявлен средний уровень стресса на фоне симпатикотонии, определяющей функциональное напряжение организма.

Студенты с выраженным стресс-напряжением были выявлены в III группе (31,7 %), а с высоким уровнем стресса – в среднем до 20 % – в каждой группе (см. рис. 4).

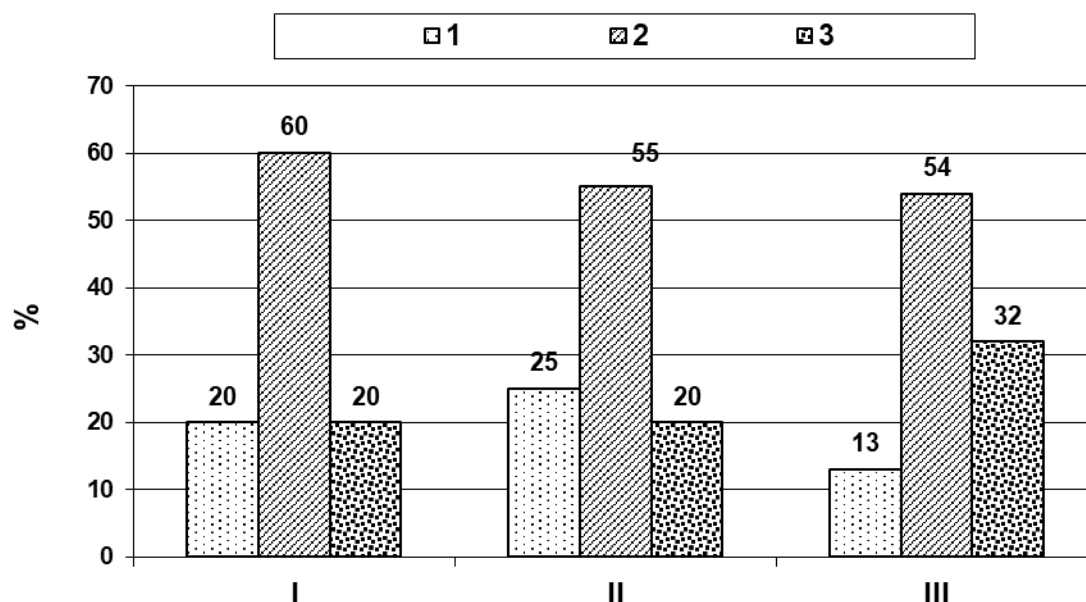


Рис. 4. Распределение студентов по индивидуальным значениям уровня испытываемого стресса: 1 – нормальный, 2 – средний, 3 – высокий; I – арабская, II – латиноамериканская, III – русская группы

Таким образом, анализ спектральных параметров ВСР позволил выявить особенности регуляции СР у студентов трех этнических групп с учетом ведущих типов автономной регуляции, определить вклад активности отделов ВНС и центрального контура регуляции, включая нервно-гуморальное влияние, в процесс формирования СР с изменением структуры мощности компонентов суммарного спектра ТР.

Выводы:

1. В процессе обучения у арабской группы первокурсников с УПАР сердечного

ритма исходно доминирующий центральный контур с выраженным проявлением симпатикотонии незначительно ослаб, у латиноамериканской – усилилась парасимпатикотония, у русской – возросла симпатикотония.

2. У испытуемых с ВПАР сердечного ритма исходный уровень парасимпатикотонии, проявляясь на фоне высокого напряжения центрального контура регуляции ритма сердца, способствовал развитию стресса у арабских и русских студентов и срыву механизмов адаптации у латиноамериканцев.

Литература

1. Аль-Шаммари М.Я.И. Спектральный анализ variability сердечного ритма у студентов-иностранцев. Научный результат. Сер. Физиология. 2016; 1: 26–33.
2. Бабунец И.В., Мириджанян Э.М., Мшаех Ю.А. Азбука variability сердечного ритма. Ставрополь; 2011. 112.
3. Похачевский А.Л., Михайлов В.М., Груздев А.А. Функциональное состояние и адаптационные резервы организма. Вестник Новгородского государственного университета. 2016; 35: 11–15.
4. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.Н., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей variability сердечного ритма (обзор литературы). Вятский медицинский вестник. 2011; 3–4: 60–65.

5. *Аль-Шаммари М.Я.И.* Особенности вегетативного контура регуляции сердечного ритма у иностранных студентов. Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова. Воронеж; 2017: 1421–1422.
6. *Шлык Н.И.* Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: монография. Ижевск; 2009. 255.
7. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001; 3: 108–127.
8. *Голухова Е.З., Алиева А.М., Какучая Т.Т.* Вариабельность сердечного ритма и методы ее оценки. Креативная кардиология. 2009; 3 (1): 76–82.
9. *Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Волковская И.В.* Вариабельность сердечного ритма: методы, измерения, интерпретация, клиническое использование. Анналы аритмологии. 2009; 4: 21–32.
10. *Веневцева Ю.Л., Мельников А.Х., Корнеева Л.Н.* Показатели вариабельности ритма сердца в оценке уровня адаптации лиц молодого возраста. Вестник аритмологии. 2000; 16: 53–55.
11. *Горст В.Р., Горст Н.А.* Уровень адаптации сердечно-сосудистой системы в юношеском возрасте и дисрегуляторные процессы. Новые исследования. 2004; 1–2 (6–7): 133–134.
12. *Мамий В.И., Хаспекова Н.Б.* О природе низкочастотной составляющей вариабельности ритма сердца и роли симпатико-парасимпатического взаимодействия. Российский физиологический журнал им. Сеченова. 2002; 2: 237–247.
13. *Михайлов В.М.* Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново; 2000. 200.
14. *Шаханова А.В., Чельщикова Т.В., Хасанова Н.Н.* Функциональные и адаптивные изменения сердечно-сосудистой системы студентов в динамике обучения. Вестник Адыгейского государственного университета. 2008; 9: 57–67.
15. *Яблучанский Н.И., Мартыненко А.В.* Вариабельность сердечного ритма в помощь практическому врачу. Для настоящих врачей. Харьков; 2010: 56–85.
16. *Покровский В.М.* Формирование ритма сердца в организме человека и животных. Краснодар: Кубань-книга; 2007. 144.
17. *Ревина Н.Е.* Вариабельность сердечного ритма как показатель вегетативного регулирования сердца при эмоциональном напряжении человека. Вестник Российской АМН. 2006; 2: 41–45.
18. *Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Раваева М.Ю.* Комплексный подход к оценке функционального состояния организма студентов. Ученые записки Таврического национального университета им. В.М. Вернадского. 2008; 1: 123–139.
19. WMA Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects (as amended in 2013): 1–5 (ethical principles of human researches).
20. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Eur. Heart J. 1996; 17: 354–381.
21. *Шлык Н.И., Зуфарова Э.И.* Нормативы показателей вариабельности сердечного ритма у исследуемых 16–21 года с разными преобладающими типами вегетативной регуляции. Вестник Удмуртского университета. 2013; 4: 97–105.

HEART RHYTHM REGULATION IN FIRST-YEAR STUDENTS OF DIFFERENT ETHNIC GROUPS PROVIDING FOR THE POWER STRUCTURE OF TOTAL SPECTRUM

Al'-Shammari Mohammed Jasim Ismael

Belgorod State University, Belgorod, Russia

e-mail: mhammd_88@mail.ru

The investigation of the activity of the central and autonomous mechanisms of heart rhythm regulation as parameters of adaptation to the academic activities of students of various ethnic groups has both theoretical and practical significance.

The objective of the paper is to assess the role of central and autonomous mechanisms in heart rate regulation in first-year students of various ethnic groups by parameters and power structure of the total spectrum of heart rate variability (HRV).

Materials and Methods. The study consisted of two stages and included 120 students (21–23 year of age) of three ethnic groups (Arabic, Latin American, and Russian). The study was conducted in October and April of the 2016–2017 academic year. The Poly-Spectrum-Rhythm software module was used to record a 5-minute ECG. Then the author examined spectral characteristics of HRV parameters for each student and divided the obtained characteristics into subgroups in each ethnic group, taking into account the leading type of autonomous heart rhythm regulation. Heart rhythm was determined according to individual values of voltage index and absolute power of very low frequencies.

Results. At both stages, the third type of autonomous heart rhythm (HR) regulation dominated in Russian students. In Arab and Latin American students, the third (moderately prevailing parasympathetic autonomic regulation (MPPAR)) or fourth (strongly predominant parasympathetic autonomic regulation (SPPAR)) types were equally determined. In Latin American students, the first type with a moderate manifestation of central regulation (MMCR) of the heart rhythm was observed at both stages. In all ethnic groups of students with MPPAR and SPPAR of the heart rhythm, the power structure of the frequency components of the total neurohumoral regulation spectrum deviated from the norm.

Conclusion. During the academic year, Arab students with MPPAR of the heart rate demonstrated a slight decrease in initially dominant central contour with a pronounced manifestation of sympathicotonia; Latin American students demonstrated increase in parasympatheticotonia; while Russian students demonstrated increased sympathicotonia.

In subjects with MPPAR of the heart rate, the initial level of parasympathicotoni, manifested on the background of a high voltage of the central circuit of heart rhythm regulation, contributed to stress development in Arabs and Russians and the adaptation mechanism breakdown in Latin Americans.

Keywords: heart rate, heart rate regulation, ethnic groups, power structure of the total spectrum.

References

1. Al'-Shammari M.Ya.I. Spektral'nyy analiz variabel'nosti serdechnogo ritma u studentov-inostrantsev [Spectral analysis of heart rate variability in foreign students]. *Nauchnyy rezul'tat. Ser. Fiziologiya*. 2016; 1: 26–33 (in Russian).
2. Babunets I.V., Miridzhanyan E.M., Mshaekh Yu.A. *Azbuka variabel'nosti serdechnogo ritma* [ABC of heart rate variability]. Stavropol'; 2011. 112 (in Russian).
3. Pokhachevskiy A.L., Mikhaylov V.M., Gruzdev A.A. Funktsional'noe sostoyanie i adaptatsionnye rezervy organizma [Functional state and adaptive reserves of the body]. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016; 35: 11–15 (in Russian).
4. Khodyrev G.N., Khlybova S.N., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Metodicheskie aspekty analiza vremennykh i spektral'nykh pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Methodological aspects of the analysis of temporal and spectral indicators of heart rate variability (review)]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2011; 3–4: 60–65 (in Russian).
5. Al'-Shammari M.Ya.I. Osobennosti vegetativnogo kontura regulyatsii serdechnogo ritma u inostrannykh studentov [Characteristics of the autonomic contour of heart rate regulation in foreign students]. *Materialy XXIII s"ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova* [Proceedings of the 23rd Congress of I.P. Pavlov Physiological Society]. Voronezh; 2017: 1421–1422 (in Russian).
6. Shlyk N.I. *Serdechnyy ritm i tip regulyatsii u detey, podrostkov i sportsmenov*: monografiya [Heart rate and regulation type in children, adolescents and athletes: monograph]. Izhevsk; 2009. 255 (in Russian).
7. Baevskiy R.M., Ivanov G.G. Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i vozmozhnosti klinicheskogo primeneniya [Heart rate variability: theoretical aspects and clinical applications]. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika*. 2001; 3: 108–127 (in Russian).
8. Golukhova E.Z., Alieva A.M., Kakuchaya T.T. Variabel'nost' serdechnogo ritma i metody ee otsenki [Heart rate variability and methods for its assessment]. *Kreativnaya kardiologiya*. 2009; 3 (1): 76–82 (in Russian).
9. Bokeriya L.A., Bokeriya O.L., Volkovskaya I.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma: metody, izmereniya, interpretatsiya, klinicheskoe ispol'zovanie [Heart rate variability: methods, measurements, interpretation, and clinical use]. *Annaly Aritmologii*. 2009; 4: 21–32 (in Russian).
10. Venevtseva Yu.L., Mel'nikov A.Kh., Korneeva L.N. Pokazateli variabel'nosti ritma serdtsa v otsenke urovnya adaptatsii lits molodogo vozrasta [Heart rate variability parameters as a means of adaptation level evaluation in young people]. *Vestnik aritmologii*. 2000; 16: 53–55 (in Russian).

11. Gorst V.R., Gorst N.A. Uroven' adaptatsii serdechno-sosudistoy sistemy v yunosheskom vozraste i dysregulyatsionnye protsessy [Cardiovascular system adaptation level and dysregulation processes in adolescence]. *Novye issledovaniya*. 2004; 1–2 (6–7): 133–134 (in Russian).
12. Mamiy V.I., Khaspekova N.B. O prirode nizkochastotnoy sostavlyayushchey variabel'nosti ritma serdtsa i roli simpatiko-parasimpaticheskogo vzaimodeystviya [Nature of the low-frequency component of heart rate variability and role of sympathetic-parasympathetic interaction]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. Sechenova*. 2002; 2: 237–247 (in Russian).
13. Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa* [Heart rate variability]. Opyt prakticheskogo primeneniya. Ivanovo; 2000. 200 (in Russian).
14. Shakhanova A.V., Chelyshkova T.V., Khasanova N.N. Funktsional'nye i adaptivnye izmeneniya serdechno-sosudistoy sistemy studentov v dinamike obucheniya [Functional and adaptive changes in students' cardiovascular system while learning]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2008; 9: 57–67 (in Russian).
15. Yabluchanskiy N.I., Martynenko A.V. *Variabel'nost' serdechnogo ritma v pomoshch' prakticheskoy vrachu* [Heart rate variability as a source of useful information for a practitioner]. Dlya nastoyashchikh vrachey. Khar'kov; 2010: 56–85 (in Russian).
16. Pokrovskiy V.M. *Formirovaniye ritma serdtsa v organizme cheloveka i zhivotnykh* [Heart rhythm formation in humans and animals]. Krasnodar: Kuban'-kniga; 2007. 144 (in Russian).
17. Revina N.E. Variabel'nost' serdechnogo ritma kak pokazatel' vegetativnogo regulirovaniya serdtsa pri emotsional'nom napryazhenii cheloveka [Heart rate variability as an indicator of heart autonomic regulation under emotional stress]. *Vestnik Rossiyskoy AMN*. 2006; 2: 41–45 (in Russian).
18. Chuyan E.N., Biryukova E.A., Ravaeva M.Yu. Kompleksnyy podkhod k otsenke funktsional'nogo sostoyaniya organizma studentov [Integrated approach to the evaluation of student's functional state]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.M. Vernadskogo*. 2008; 1: 123–139 (in Russian).
19. *WMA Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects* (as amended in 2013): 1–5 (ethical principles of human researches).
20. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur. Heart J.* 1996; 17: 354–381.
21. Shlyk N.I., Zufarova E.I. Normativy pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma u issleduemykh 16–21 goda s raznymi preobladayushchimi tipami vegetativnoy regulyatsii [Standards for heart rate variability in 16–21 year-olds with various prevailing types of autonomic regulation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*. 2013; 4: 97–105 (in Russian).

УДК 543.551.579. 13–613.2

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-125-134

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА И ЧЕРНОГО ЧАЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПИТЬЕВОМУ РЕЖИМУ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

А.И. Андриянов, А.Л. Сметанин, А.П. Селезнев, Е.С. Белозеров,
А.А. Корнеева, Ю.В. Ищук, Е.С. Мартынова

ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»
Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: smet.alex1957@yandex.ru

Цель работы – сравнительная физиолого-гигиеническая оценка напитков из плодов шиповника и черного чая, входящих в состав пайков военнослужащих, и разработка предложений по их употреблению военнослужащими в условиях высоких физических нагрузок.

Материалы и методы. Для определения содержания витамина С и микроэлементов использовали четыре сорта шиповника и три – черного чая. Определение витамина С проводили по методу Тильманса и йодометрическим методом по ГОСТ 24556-89. Кроме витамина С, напитки исследовали на содержание других витаминов, макро- и микроэлементов с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре МГА 915-М («Люмекс», Россия).

Результаты. Согласно современным представлениям функциональные напитки, помимо известных характеристик, присущих традиционным напиткам (утоление жажды, удовольствие и др.), должны обладать полезными для здоровья человека свойствами. В составе рационов питания военнослужащих отсутствуют средства для приготовления функциональных напитков, хотя они широко применяются лицами, занимающимися тяжелым физическим трудом. В ходе лабораторных исследований установлено, что содержание витамина С в плодах шиповника на два порядка выше, чем в черном чае. Содержание витаминов А и Е, железа в сухих плодах шиповника значительно выше, чем в черном чае. Микроэлементы марганец, медь, молибден и цинк присутствуют в шиповнике в значительном количестве, селен – в незначительном количестве. Указанные микроэлементы в черном чае отсутствуют.

Выводы. Результаты исследования напитка на основе шиповника свидетельствуют о его высокой ценности в отношении витаминов и минеральных веществ. Его применение поможет восстановить водно-электролитные потери у лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом, спортсменов и военнослужащих, повысит выносливость и ускорит восстановление организма после больших физических нагрузок. Сухая навеска для приготовления напитка снизит вес носимого запаса военнослужащих, что положительно скажется на качестве выполнения поставленных задач.

Ключевые слова: питание военнослужащих, напитки, водно-электролитный баланс, витамины, макроэлементы, микроэлементы, витамин С, рацион, шиповник, черный чай.

Введение. Актуальность настоящей работы заключается в необходимости совершенствования водопотребления с помощью функциональных напитков у военнослужащих, которые по коэффициенту физической активности относятся к IV–V группам. В распоряжении Правительства РФ от 2010 г. «Об утверждении Основ государственной политики РФ в области здорового питания населения на период до 2020 г.» особое внимание

обращается на продукты функционального питания с целью укрепления здоровья людей, а также профилактики заболеваний, обусловленных недостатками традиционного питания [1]. «Критическими» в этом отношении представляются субпопуляции населения с высоким уровнем интенсивности труда, в т.ч. военнослужащие и спортсмены [1–3].

Потребности организма в некоторых ингредиентах пищи при экстремальных нагруз-

ках могут возрастать до 10–15 раз. Наиболее эффективным способом профилактики возможных острых гиповитаминозных и гипоеlementозных состояний, а также обеспечения высокой работоспособности является введение в рационы питания функциональных напитков как части функциональных продуктов, обогащенных соответствующим набором (количеством) витаминов и других биологически активных веществ [4–7]. Основное отличие функциональных от традиционных напитков общего назначения – их искусственное обогащение витаминами, макро- и микроэлементами, белками, моно- и дисахарами. Функциональные напитки, помимо известных характеристик, свойственных традиционным напиткам (утоление жажды, получение удовольствия и др.), обладают полезными для здоровья человека свойствами. Как часть ежедневного рациона питания функциональные напитки могут принимать участие в регулировании защитных биологических механизмов, повышать выносливость и др., поэтому они входят в состав рационов питания военнослужащих зарубежных армий (например, в армии США) [8–10].

В то же время в составе рационов питания ВС РФ не предусмотрены средства для приготовления специализированных напитков [9]. Разработка такого напитка и оценка его эффективности необходимы для определения целесообразности его употребления в целях более быстрого восстановления энергетических и водно-электролитных потерь у военнослужащих (и гражданского населения), повышения выносливости и улучшения процесса восстановления после тяжелых нагрузок [9, 11].

Цель исследования. Дать сравнительную физиолого-гигиеническую оценку функциональных изотонических напитков из плодов шиповника, а также черного чая, входящего в состав основных пайков военнослужащих, на основании чего разработать предложения по целесообразности употребления их военнослужащими в условиях повышенных физических нагрузок.

Материалы и методы. Для определения содержания витамина С и микроэлементов использовали четыре сорта шиповника и три –

черного чая. Определение витамина С проводили по методу Тильманса и йодометрическим методом по ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С».

Кроме витамина С, продукты были исследованы на содержание витаминов А, В₁, В₂, Е, РР и β-каротина, а также биоэлементов: калия (К), кальция (Са), магния (Mg), натрия (Na), фосфора (P), меди (Cu), железа (Fe), марганца (Mn), молибдена (Mo), цинка (Zn) и селена (Se) – с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре МГА 915-М («Люмекс», Россия) [12].

Статистический анализ результатов измерений осуществляли с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. К современным функциональным напиткам относятся витаминные напитки с комплексом витаминов А, С и Е (напитки АСЕ), мультивитаминные напитки на основе растительных экстрактов с добавлением балластных веществ, энергетические, специализированные, спортивные напитки и др. Данный классификационный подход достаточно условен. Витаминные напитки могут содержать балластные вещества, спортивные напитки – витамины, энергетические – натуральные растительные экстракты и др. [13].

Как правило, большинство функциональных напитков имеет полный набор эссенциальных пищевых веществ. Они делятся по своему назначению на две группы: первая – для употребления во время физической нагрузки; вторая – в течение периода восстановления [14].

К первой группе относят изотонические напитки. Изотонической называют жидкость, имеющую осмотическое давление, как у плазмы крови (270–290 mOsm). К примеру, раствор глюкозы с концентрацией 4,5 % изотоничен плазме. Указанные напитки возмещают потери электролитов и способствуют поддержанию оптимального водно-электролитного баланса в организме. Быстрое всасывание воды характерно для гипотонических жидкостей, а изотоники всасываются относительно медленно, т.е. они обеспечивают равномерное снабжение организма жидкостью [15].

При длительном регулировании обмена жидкости в организме, когда объемы вводимой и выводимой жидкости составляют до нескольких литров в сутки, необходимо учитывать также баланс солей. Так, например, раствор, содержащий только углеводы, может быть изотоничным, но он не обеспечит восполнения потерь электролитов, в то время как вода с солями несколько замедлит вымывание электролитов из организма. Пренебрежение вопросом пополнения электролитов в крови, особенно Na, приводит к падению их концентрации, снижению осмотического давления, что усиливает экскрецию жидкости. Такой диуретический эффект может наблюдаться даже при отрицательном балансе жидкости в организме.

Поступающая в организм изотоническая жидкость поддерживает постоянный состав крови и, если в ней содержатся соли Na и K, Mg и др., восполняет потери электролитов с потом и мочой. В отличие от употребления гипотонических напитков (простая вода), потребление изотоников в меньшей степени активизирует механизм диуреза.

Изотонические напитки могут являться источником легкоусвояемых углеводов, регулирующих гликемический индекс (мальтодекстрин, фруктоза, сахароза). Предпочтение отдается напиткам, содержащим несколько различных углеводов, что приводит к увеличению скорости всасывания воды и сахаров, равно как и к улучшению вкусовых качеств напитка.

Максимальный уровень пищевых ингредиентов в напитке как в функциональном продукте питания не должен превышать 20–30 % от физиологической нормы потребления пищевых веществ в сутки [16–18].

В процесс перемещения жидкостей через клеточную мембрану нужно вносить некоторые поправки с учетом физиологических особенностей организма человека. Это прежде всего процесс активного транспорта против градиента концентрации ионов Na, K и Ca с помощью так называемого ионного насоса. Кроме того, почки задерживают часть растворенных в плазме веществ и направляют их обратно в кровь. Всасывание жидко-

стей в кишечнике также не подчиняется простым закономерностям осмоса.

Витаминно-минеральные комплексы не обладают никакими преимуществами в качестве источников витаминов и микроэлементов, но могут быть дополнительным источником углеводов, не заменяя более традиционные – твердую пищу и белково-углеводные коктейли. Таким образом, изотонические напитки должны употребляться с определенными целями, с учетом содержания в них различных компонентов. Основную потребность в жидкости рекомендовано удовлетворять за счет минеральной воды, жидких молочных продуктов и соков [9].

Для быстрого восстановления энергии, но не для восстановления водного-электролитного баланса, людям после интенсивной и многочасовой физической нагрузки рекомендуются напитки с пептидными и глутаминовыми ингредиентами – пептидные гипертонические растворы. Помимо углеводов, минеральных веществ и антиоксидантов, они включают гидролизаты сои или пшеницы. Они более концентрированы, чем жидкости, содержащиеся в организме, поэтому всасываются медленно.

Для восполнения потерь рекомендуется употребление объема жидкости, превышающего по меньшей мере на 50 % ее количество, потерянное с потом. Максимальный уровень потребления жидкости не должен быть выше 1,0–1,5 л/ч, поскольку избыток жидкости приводит к противоположному эффекту – снижению работоспособности. Но в определенных условиях (тяжелый физический труд в сочетании с жаркой погодой) потребность в жидкости может вырасти до 100–150 г каждые 10–15 мин [20].

Как известно, для изготовления любого изотонического напитка на основе углеводов их концентрация должна быть в пределах 4,4–4,6 %. К примеру, содержание углеводов в сухом концентрате «Шиповник растворимый» составляет 68 г на 100 г съедобной части. В соответствии с этим изотонический напиток на основе «Шиповника растворимого» с установленным содержанием углеводов готовится путем растворения 6,6 г сухого

концентрата в 93 см³ кипяченой воды. Для исключения разрушения витамина С температура воды не должна превышать 50 °С.

Пробы плодов шиповника и чая нами были исследованы на содержание витаминов, макро- и микроэлементов (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительная оценка
витаминно-минерального состава плодов шиповника и черного чая**

Показатели	Нормы физиологической потребности, мг/сут	Шиповник растворимый, n=40			Чай черный (сухая заварка), n=40			Р
		Количество, мг/2 г		% от нормы суточной потребности	Количество, мг/2 г		% от нормы суточной потребности	
		$\overline{X}$	S		$\overline{X}$	S		
Витамины								
Витамин С	90,0	21,72	1,63	24,13	0,2	0,021	0,2	0,007
Витамин А	0,9	0,134	0,014	15,0	0,001	0,009	0,1	0,029
Витамин В ₁	1,5	0,0014	0,0003	0,1	0,0014	0,0031	0,09	0,079
Витамин В ₂	1,8	0,006	0,0005	0,33	0,02	0,0011	1,0	0,017
Витамин Е	15,0	0,1	0,021	0,7	-	-	-	-
Витамин РР	20,0	0,028	0,028	0,14	0,23	0,002	1,13	0,185
β-каротин	5,0	0,1	0,009	2,0	-	-	-	-
Макро- и микроэлементы								
К	2500,0	1,0	0,12	0,04	49,6	3,76	2,0	0,008
Ca	1000,0	1,2	0,08	0,12	9,9	0,81	1,0	0,042
Mg	400,0	0,34	0,04	0,085	8,8	0,54	2,2	0,016
Na	1300,0	0,22	0,021	0,02	1,64	0,094	0,13	0,019
P	800,0	0,34	0,022	0,043	16,48	1,248	2,1	0,023
Fe	10,0	0,60	0,061	6,0	1,64	0,084	16,4	0,039
Mn	2,0	1,07	0,07	53,5	-	-	-	-
Cu	1,0	0,03	0,04	3,0	-	-	-	-
Mo	0,07	0,18	0,012	257	-	-	-	-
Zn	12,0	58,1	0,69	484,2	-	-	-	-
Se	0,07	0,0001	3·10 ⁻⁶	0,14	-	-	-	-

Примечания: 1. $\bar{X}$ – средние значения показателя по выборке; S – стандартное отклонение по выборке. 2. При $p < 0,05$ выявлены статистически значимые различия между показателями.

Уровень витамина С в плодах шиповника в среднем на 2 порядка выше, чем в черном чае. Также значительно больше в плодах шиповника витаминов А и Е. Содержание эссенциального макроэлемента Fe в плодах шиповника значительно выше, чем в пробах черного чая. Микроэлементы Mn, Cu, Mo, Zn присутствуют в шиповнике в значительном количестве, Se – в незначительном количестве. Указанные микроэлементы в черном чае отсутствуют.

Плоды шиповника по отношению к суточной потребности человека в отдельных микронутриентах и в сравнении с аналогичными наименованиями в черном чае харак-

теризуются следующим образом (табл. 1, рис. 1–3):

– содержание витамина С составило 24,1 % от рекомендуемого значения суточной потребности, что выше значения этого показателя для черного чая – 21,7 и 0,2 мг/2 г соответственно. Витамин С – мощный антиоксидант, он необходим для укрепления стенок сосудов, синтеза клеточных стенок и стабильной работы иммунной системы. Кроме того, витамин С обеспечивает нормальный синтез коллагена – структурной единицы соединительной ткани, он участвует в окислительно-восстановительных реакциях, способствует усвоению Fe [21];

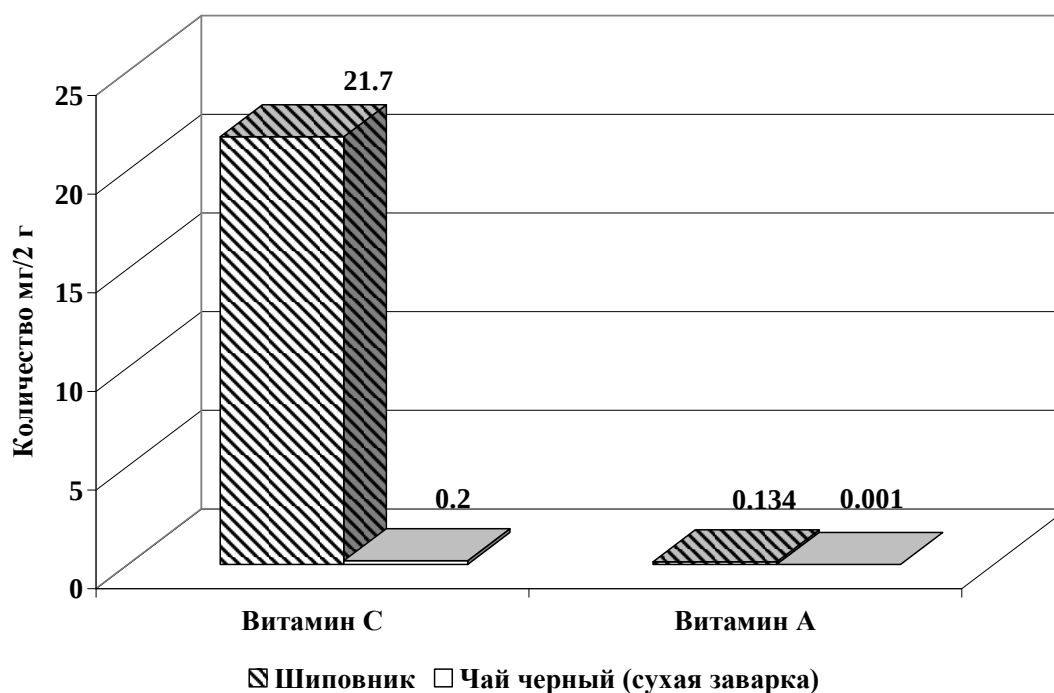


Рис. 1. Содержание витаминов С и А в шиповнике и черном чае

– содержание витамина А составило 15 % от рекомендуемого значения суточной потребности, что выше значения этого показателя для черного чая – 0,134 и 0,001 мг/2 г соответственно. Витамин А – антиоксидант, способствует повышению восприимчивости цвета зрительным анализатором и темновой адаптации;

– содержание витамина Е составило 0,7 % от рекомендуемого значения суточной

потребности. Он необходим для функционирования половых желез, сердечной мышцы, является универсальным стабилизатором клеточных мембран;

– содержание β-каротина составило 2,0 % от рекомендуемого значения суточной потребности. β-каротин – антиоксидант, способствует повышению восприимчивости цвета зрительным анализатором и темновой адаптации;

– содержание Fe составило 6,0 % от рекомендуемого значения суточной потребности и несколько уступает значению этого показателя черного чая – 0,6 и 1,64 мг/2 г соответственно. Железо входит в состав различ-

ных белков, в т.ч. ферментов, участвует в транспорте электронов, кислорода, обеспечивает протекание окислительно-восстановительных реакций и активацию перекисного окисления липидов [2];

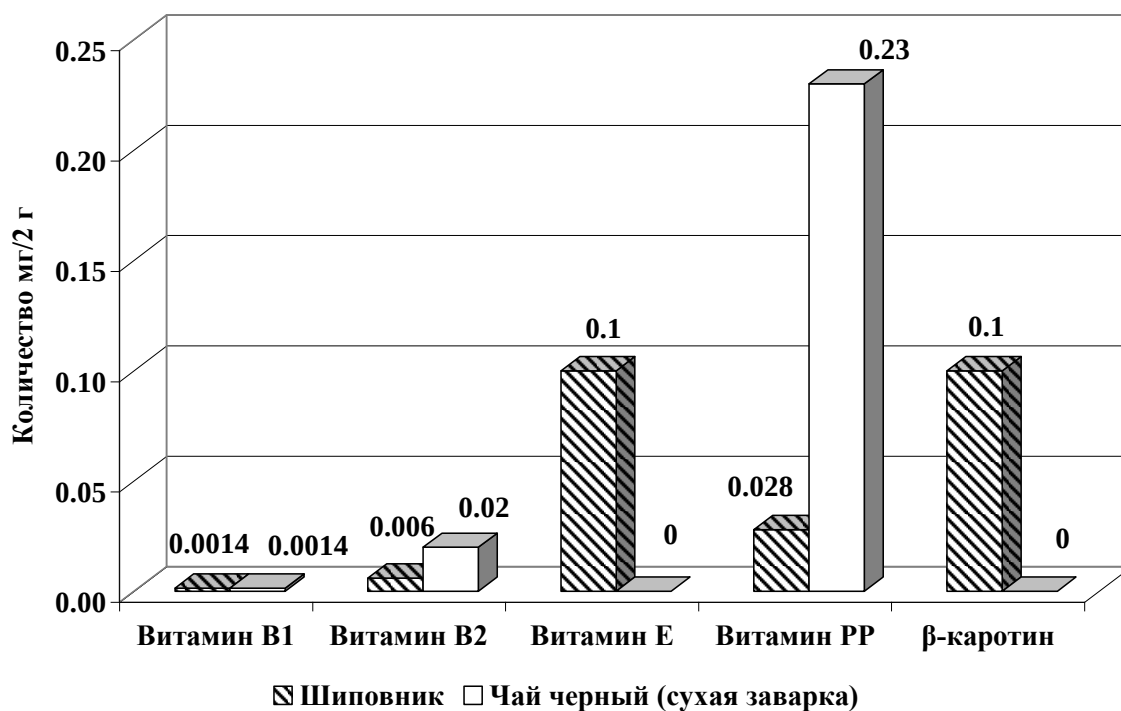


Рис. 2. Содержание витаминов В₁, В₂, Е, РР и β-каротина в шиповнике и черном чае

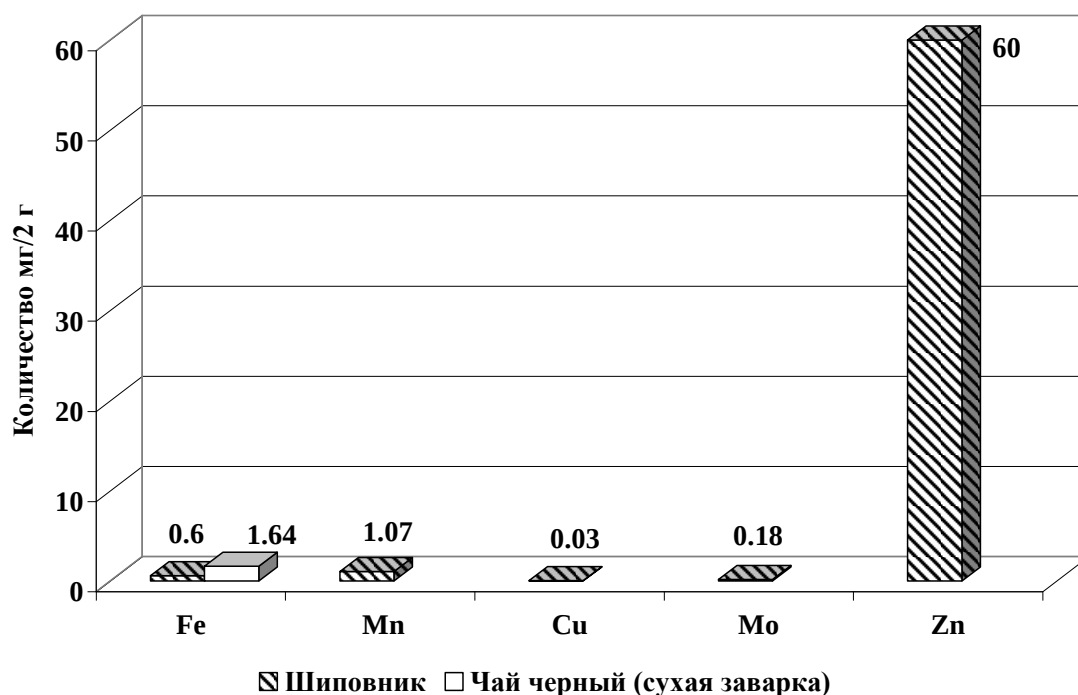


Рис. 3. Содержание минералов Fe, Mn, Cu, Mo и Zn в плодах шиповника и черном чае

– содержание Mn составило 53,5 % от рекомендуемого значения суточной потребности. Mn – эссенциальный микроэлемент, кофактор более чем 30 ферментов, участвующих в метаболизм аминокислот, углеводов, катехоламинов; необходим для синтеза холестерина и нуклеотидов, он активирует гемопоэз, стимулирует пролиферацию Т- и В-клеток, нормализует белковый, жировой и углеводный обмен и фагоцитоз, улучшает усвоение витаминов А, С и Е, усиливает эффекты Zn и Cu, осуществляет антиоксидантную защиту клетки [2];

– содержание Cu составило 3 % от рекомендуемого значения суточной потребности. Cu входит в состав ферментов, обладающих окислительно-восстановительной активностью и участвующих в метаболизме Fe, стимулирует усвоение белков и углеводов; при низком содержании Cu в пище нарушается печеночный синтез фермента церулоплазмينا, который катализирует окисление двухвалентного Fe^{+2} в трехвалентное Fe^{+3} , развиваются симптомы непереносимости сахара, повышается уровень холестерина в крови, склонность к депрессиям, инфекциям. Cu наряду с Zn участвует в регуляции обмена насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, поэтому при недостаточности Cu меняется состав жирных кислот мембран клеток сосудов, что приводит к снижению выработки сосудорасширяющих и антиагрегационных факторов, таких как простагландин. Метаболизм Cu связан с метаболизмом Zn – антагониста Cu; отношение Cu/Zn – одна из важнейших констант в организме человека, поэтому эти микроэлементы поступают в организм человека в определенном соотношении [2];

– содержание Mo составило 257 % от рекомендуемого значения суточной потребности. Mo является кофактором многих ферментов, обеспечивающих метаболизм серосодержащих аминокислот, пуринов и пиримидинов [2];

– содержание Zn составило 484,2 % от

рекомендуемого значения суточной потребности. Zn входит в состав более 300 ферментов, участвует в процессах синтеза и распада углеводов, белков, жиров, нуклеиновых кислот и в регуляции экспрессии ряда генов. Zn участвует в метаболизме витаминов А и Е, в окислительно-восстановительных реакциях, энергетическом обмене [22].

Витамин Е, β -каротин, Mn, Cu, Mo и Zn в черном чае отсутствуют (рис. 2, 3).

Таким образом, шиповник является настоящим рекордсменом по содержанию витаминов и микроэлементов, которые необходимы для правильного обмена веществ, и вполне может послужить основой для изготовления функционального изотонического напитка, который частично может заменить 1 или 2 г черного чая (в зависимости от наименования пайка).

Вывод. Результаты исследования напитка изотонического на основе растворимого шиповника свидетельствуют о его высокой биологической ценности в отношении водорастворимых витаминов и ряда минеральных веществ. Содержание витамина С в этом напитке в среднем на два порядка выше, чем в черном чае, а эссенциальные микроэлементы Mn, Cu, Mo и Zn содержатся в плодах шиповника и отсутствуют в черном чае. Напиток на основе шиповника может быть предложен как составная часть рациона питания.

Применение специализированного напитка поможет быстрее восстановить водно-электролитные потери у лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом, спортсменов, военных, повысить выносливость и улучшить процесс восстановления после больших нагрузок. Необходимое количество растворимой навески напитка меньше объема питьевой воды, необходимого для коррекции водно-электролитного баланса, а у военных приведет к снижению массы носимого запаса и частоты его пополнения и положительно скажется на трудо- и боеспособности военнослужащих при выполнении поставленных перед ними задач.

Литература

1. Батури́н А.К., Мендельсон Г.И. Питание и здоровье: проблемы XXI. Пищевая промышленность. 2005; 5: 105–107.
2. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Янушевич О.О. Общая нутрициология: учебное пособие. М.: МЕД-пресс-информ; 2002. 392.
3. Кузьмин С.Г., Макаров П.П., Майдан В.А. Гигиеническая оценка фактического питания и статуса питания операторов ВМФ при выполнении ими задач учебно-боевой деятельности. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2008; 2: 328–329.
4. Шендеров Б.А. Состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание» в России: общие и избранные разделы проблемы. Фарматека. 2006; 1: 41–47.
5. Тутельян В.А. Сбалансированное питание – основа процветания нации. Здоровое питание: воспитание, образование, реклама: обзорный доклад на VI Всероссийской конференции. Ноябрь 2001. Москва; 2001: 9–14.
6. Зуев Е.Т., Гурьев В.И., Еремец В.И., Токарик Э.Ф., Ковальская Л.А. Безалкогольные напитки: медико-биологические аспекты обеспечения качества. Пищевая промышленность. 2001; 4: 46–48.
7. Зуев Е.Т. Функциональные напитки: их место в концепции здорового питания ЗАО «ОСТ-АКВА» (г. Черноголовка, Московская обл.). Пищевая промышленность. 2004; 7: 23–25.
8. Образцов Л.Н., Шелепова А.М., ред. Особенности медицинского обеспечения подразделений СВ в горной местности. СПб.: ВМедА; 2005. 88.
9. Андриянов А.И., Турков А.Г., Сметанин А.Л., Коновалова И.А. Нормирование питания военнослужащих. Вестник академии военных наук. 2014; 4 (14): 33–45.
10. Medical Services. Nutrition standards and education: Army Regulation 40–25 BUMEDINST 10110.6 AFI 44-141. Washington: Headquarters Departments of the Army, Navy, and Air Force; 2001. 17.
11. Гребеньков С.В., Жолус Б.И., Довгуша В.В., Кудерков С.М., Майдан В.А., Махненко А.А., Меркушев И.А., Новожилов Г.Н., Омельчук В.В., Петреев И.В. Военно-морская и радиационная гигиена: в 2 т. Т. 1. СПб.: Редактор; 1998. 910.
12. Андриянов А.И., Кривцов А.В., Сметанин А.Л., Сороколетова Е.Ф., Селезнева А.А., Павлинова Е.С., Ищук Ю.В. Совершенствование методики определения калия и натрия во фруктовых соках при проведении контроля за безопасностью питания военнослужащих. Вестник академии военных наук. 2015; 4 (52): 139–143.
13. Шубина О.Г. АСЕ-напитки: знакомый соратник против незнакомых вопросов? Напитки. 2002; 3: 70–71.
14. Токаев Э.С., Мироедов Е.А., Некрасов А.А., Хасанов Э.С., Токаев Р.Ю. Технология продуктов спортивного питания. М.: МГУПБ; 2010. 108.
15. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Поздняков А.Л. Оптимизация питания спортсменов: реалии и перспективы. Вопросы питания. 2010; 79 (3): 78–82.
16. Бурмистров Г.П., Макаров П.П., Мулина Н.А. Разработка специальных безалкогольных и слабоалкогольных напитков функционального назначения. Проблемы качества бутилированных питьевых вод, безалкогольных и слабоалкогольных напитков: сборник материалов научно-практической конференции. 2003. Москва; 2003: 51–55.
17. Суханов Б.П. Напитки как носители микронутриентов. Разработка, производство, продвижение и продажа вин, алкогольных и пивобезалкогольных напитков. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2002. Москва; 2002: 113–114.
18. Болотов В.М., Нечаев А.П. Пищевые красители. Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. 2001; 1: 4–11.
19. Андриянов А.И., Юрчик Н.В., Соченко В.В., Кривцов А.В., Субботина Т.И., Андреев В.П., Коновалова И.А., Сметанин А.Л., Ищук Ю.В. Физиолого-гигиеническая оценка питания членов экипажей надводных кораблей Военно-морского флота в длительном морском походе. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2018; 2 (62): 139–143.
20. Зоткин А.В., Скопин А.Ю. Методические подходы к использованию питьевой воды. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2007; 4 (20): 26–27.
21. Долматова И.А., Латыпова С.Ш. Продукты функционального назначения в питании населения. Молодой ученый. 2016; 7: 63–65.
22. Тутельян В.А., ред. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М.: ДеЛиПринт; 2012. 284.

COMPARATIVE PHYSIOLOGICAL AND HYGIENIC EVALUATION OF VITAMIN AND MINERAL COMPOSITION OF DRINKS BASED ON WILD ROSEHIPS AND BLACK TEA IN THE WATER-INTAKE REGIME OF MILITARY MEN

A.I. Andriyanov, A.L. Smetanin, A.P. Seleznev,
E.S. Belozеров, A.A. Korneeva, Yu.V. Ishchuk, E.S. Martynova

S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defence of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

e-mail: smet.alex1957@yandex.ru

The purpose of the paper is a comparative physiological and hygienic assessment of wild rosehip drinks and black tea, which are a part of a military ration, and the proposal development for their intake by military personnel under high physical loads.

Materials and Methods. The authors used four varieties of wild rosehips and three varieties of black tea to determine the amount of vitamin C and microelements. Tillmans method and iodometry (GOST 24556-89) were used for vitamin C determination. Besides vitamin C, drinks were examined for the content of other vitamins, macro- and microelements using atomic absorption spectroscopy, MGA 915-M spectrophotometer (Lumex, Russia).

Results. According to present-day ideas, functional drinks should possess not only well-known characteristics peculiar to traditional drinks (satisfying thirst, pleasure, etc.), but also be beneficial to human health. In the military food ration there are no facilities to prepare functional drinks, although such drinks are widely used by individuals engaged in rough labor. The laboratory studies show that the amount of vitamin C in wild rosehips is twice as much as in black tea. The content of vitamins A and E, and iron in dry wild rosehips is much higher than in black tea. Microelements, namely manganese, copper, molybdenum and zinc, are found in wild rosehips in a significant amount, while there is only a small amount of selenium. The above-mentioned microelements are not found in black tea.

Conclusion. The research results demonstrate that wild rosehip drinks are valuable as they contain much vitamins and minerals. Its use can help restore water-electrolyte losses in individuals engaged in rough labor, athletes and military men, increase endurance and recovery process after heavy physical loads. Dry dose for preparing a drink will reduce the weight of the military stock, and positively affect the quality of mission accomplishment.

Keywords: military men diet, drinks, water-electrolyte balance, vitamins, macroelements, microelements, vitamin C, ration, wild rosehip, black tea.

References

1. Baturin A.K., Mendel'son G.I. Pitaniye i zdorov'e: problemy XXI [Nutrition and health: Challenges of the 21st century]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2005; 5: 105–107 (in Russian).
2. Martinchik A.N., Maev I.V., Yanushevich O.O. *Obshchaya nutritsiologiya: uchebnoe posobie* [General nutrition: training manual]. Moscow: MEDpress-inform; 2002. 392 (in Russian).
3. Kuz'min S.G., Makarov P.P., Maydan V.A. Gigienicheskaya otsenka fakticheskogo pitaniya i statusa pitaniya operatorov VMF pri vypolnenii imi zadach uchebno-boevoy deyatel'nosti [Hygienic assessment of nutrition and nutrition status of the Navy operators while performing combat training activities]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2008; 2: 328–329 (in Russian).
4. Shenderov B.A. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya kontseptsii «Funktional'noye pitaniye» v Rossii: obshchie i izbrannyye razdely problem [Status and prospects for “Functional Nutrition” development in Russia: general and specific problems]. *Farmateka*. 2006; 1: 41–47 (in Russian).
5. Tutel'yan V.A. *Sbalansirovannoye pitaniye – osnova protsvetaniya natsii. Zdorovoye pitaniye: vospitaniye, obrazovaniye, reklama: obzornyy doklad na VI Vserossiyskoy konferentsii*. Noyabr' 2001 [Balanced diet as a base for nation's prosperity. Healthy nutrition: upbringing, education, advertising: a review report at the 6th All-Russian Conference. November 2001]. Moscow; 2001: 9–14 (in Russian).
6. Zuev E.T., Gur'ev V.I., Eremets V.I., Tokarik E.F., Koval'skaya L.A. Bezalkogol'nye napitki: mediko-biologicheskiye aspekty obespecheniya kachestva [Soft drinks: biomedical aspects of quality assurance]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2001; 4: 46–48 (in Russian).

7. Zuev E.T. Funktsional'nye napitki: ikh mesto v kontseptsii zdorovogo pitaniya ZAO «OST-AKVA» (g. Chernogolovka, Moskovskaya obl.) [Functional drinks: their place in the healthy nutrition concept of "OST-AKVA" (Chernogolovka, Moscow Region)]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2004; 7: 23–25 (in Russian).
8. Obrastsov L.N., Shelepova A.M., ed. *Osobennosti meditsinskogo obespecheniya podrazdeleniy SV v gornoy mestnosti* [Medical supplies of military units in mountainous areas]. St. Petersburg: VMedA; 2005. 88 (in Russian).
9. Andriyanov A.I., Turkov A.G., Smetanin A.L., Konvalova I.A. Normirovanie pitaniya voennosluzhashchikh [Nutrition rationing of military men]. *Vestnik akademii voennykh nauk*. 2014; 4 (14): 33–45 (in Russian).
10. *Medical Services. Nutrition standards and education: Army Regulation 40–25 BUMEDINST 10110.6 AFI 44-141*. Washington: Headquarters Departments of the Army, Navy, and Air Force; 2001. 17.
11. Greben'kov S.V., Zholus B.I., Dovgusha V.V., Kuderkov S.M., Maydan V.A., Makhnenko A.A., Merkushev I.A., Novozhilov G.N., Omel'chuk V.V., Petreev I.V. *Voенно-morskaya i radiatsionnaya gigiena: v 2 t.* [Naval and radiation hygiene: in 2 volumes]. T. 1. St. Petersburg: Redaktor; 1998. 910 (in Russian).
12. Andriyanov A.I., Krivtsov A.V., Smetanin A.L., Sorokoletova E.F., Selezneva A.A., Pavlinova E.S., Ishchuk Yu.V. Sovershenstvovanie metodiki opredeleniya kaliya i natriya vo fruktovykh sokakh pri provedenii kontrolya za bezopasnost'yu pitaniya voennosluzhashchikh [Methodology development for potassium and sodium detection in fruit juices during food safety monitoring of military men]. *Vestnik akademii voennykh nauk*. 2015; 4 (52): 139–143 (in Russian).
13. Shubina O.G. ASE-napitki: znakomyy soratnik protiv neznakomykh voprosov [ACE drinks: Familiar ally against unfamiliar questions]? *Napitki*. 2002; 3: 70–71 (in Russian).
14. Tokaev E.S., Miroedov E.A., Nekrasov A.A., Khasanov E.S., Tokaev R.Yu. *Tekhnologiya produktov sportivnogo pitaniya* [Technology of sport nutrition]. Moscow: MGUPB; 2010. 108 (in Russian).
15. Tutel'yan V.A., Nikityuk D.B., Pozdnyakov A.L. Optimizatsiya pitaniya sportsmenov: realii i perspektivy [Optimization of athlete nutrition: Realities and prospects]. *Voprosy pitaniya*. 2010; 79 (3): 78–82 (in Russian).
16. Burmistrov G.P., Makarov P.P., Mulina N.A. Razrabotka spetsial'nykh bezalkogol'nykh i slaboalkogol'nykh napitkov funktsional'nogo naznacheniya [Development of special functional soft and low-alcohol drinks]. *Problemy kachestva butilirovannykh pit'evykh vod, bezalkogol'nykh i slaboalkogol'nykh napitkov: sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Quality problems of bottled drinking water, soft and low-alcohol drinks: Proceedings of a scientific and practical conference]. 2003. Moscow; 2003: 51–55 (in Russian).
17. Sukhanov B.P. Napitki kak nositeli mikronutrientov [Beverages as a source of micronutrients]. *Razrabotka, proizvodstvo, prodvizhenie i prodazha vin, alkogol'nykh i pivobezalkogol'nykh napitkov: Materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Development, production, promotion and sale of wines, alcoholic beverages and soft drinks: Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference]. 2002. Moscow; 2002: 113–114 (in Russian).
18. Bolotov V.M., Nechaev A.P. Pishchevye krasiteli. Pishchevye ingredient [Food colorants. Food ingredients]. *Syr'e i dobavki*. 2001; 1: 4–11 (in Russian).
19. Andriyanov A.I., Yurchik N.V., Sochenko V.V., Krivtsov A.V., Subbotina T.I., Andreev V.P., Konvalova I.A., Smetanin A.L., Ishchuk Yu.V. Fiziologo-gigienicheskaya otsenka pitaniya chlenov ekipazhey nadvodnykh korabley Voенно-morskogo flota v dlitel'nom morskoye pokhode [Physiological and hygienic assessment of the nutrition of Naval surface ship crew during long sea voyages]. *Vestnik Rossiyskoy voенно-meditsinskoy akademii*. 2018; 2 (62): 139–143 (in Russian).
20. Zotkin A.V., Skopin A.Yu. Metodicheskie podkhody k ispol'zovaniyu pit'evoy vody [Methodological approaches to drinking water management]. *Vestnik Rossiyskoy voенно-meditsinskoy akademii*. 2007; 4 (20): 26–27 (in Russian).
21. Dolmatova I.A., Latypova S.Sh. Produkty funktsional'nogo naznacheniya v pitanii naseleniya [Functional products in nutrition]. *Molodoy uchenyy*. 2016; 7: 63–65 (in Russian).
22. Tutel'yan V.A., ed. *Khimicheskiy sostav i kaloriynost' rossiyskikh produktov pitaniya: spravochnik* [Chemical composition and calorie content of Russian food: Reference book]. Moscow: DeLiPrint; 2012. 284 (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аксенова Алла Валерьевна – кандидат психологических наук, доцент кафедры физиологии; ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: physilogtigma@mail.ru.

Аль-Шаммари Мохаммед Ясим Исмаел – аспирант кафедры биологии; ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»; e-mail: mhammd_88@mail.ru.

Андриянов Антон Игоревич – кандидат медицинских наук, начальник НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Ануфриев Григорий Николаевич – старший преподаватель кафедры физиологии и спортивной медицины; ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»; e-mail: grin911komi@mail.ru.

Белозеров Евгений Степанович – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки КазССР, старший научный сотрудник НИЛ (лечебного питания и биологически активных пищевых добавок) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Белоногов Николай Иванович – доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»; e-mail: kep131289@gmail.com.

Богданов Валерий Леонидович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры оперативной хирургии, клинической анатомии и патологической анатомии ФПК и ППС; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com.

Бяловский Юрий Юльевич – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой патофизиологии; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: b_uu@mail.ru.

Васильев Владимир Николаевич – доктор биологических наук, профессор кафедры физической культуры и здоровья; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: vas11@yandex.ru.

Ведясова Ольга Александровна – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных; ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева»; e-mail: o.a.vedyasova@gmail.com.

Ветош Александр Николаевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник; ФБГУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН»; профессор кафедры физиологии; ФБГОУ ВО «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта»; профессор кафедры токсикологии, экс-

тремальной и водолазной медицины; ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»; e-mail: vjotnn@yahoo.com.

Гультяева Валентина Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела функциональных резервов и спортивной медицины; ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»; e-mail: gulyaevavv@physiol.ru.

Гусакова Светлана Валерьевна – доктор медицинских наук, зав. кафедрой биофизики и функциональной диагностики, декан медико-биологического факультета; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: gusacova@yandex.ru.

Долгалев Игорь Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой факультетской терапии с курсом клинической фармакологии; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: div65@mail.ru.

Дыгай Александр Михайлович – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, зам. академика-секретаря Отделения медицинских наук РАН – руководитель секции медико-биологических наук, научный руководитель НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; e-mail: nii@pharmso.ru.

Зинченко Маргарита Ивановна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела функциональных резервов и спортивной медицины; ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»; e-mail: miz@physiol.ru.

Иванов Владимир Владимирович – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и молекулярной биологии с курсом клинической лабораторной диагностики; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: ivanovvv1953@gmail.com.

Игнатова Юлия Петровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии; ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: physilogtgma@mail.ru.

Ищук Юлия Владимировна – научный сотрудник НИЛ (медико-биологических проблем водоснабжения войск) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Кабанцова Оксана Игоревна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник; Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН; e-mail: oktochka@mail.ru.

Карпова Анна Владимировна – ординатор первого года обучения на базе курса неврологии; ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Министерства здравоохранения Чувашской Республики; e-mail: anna_karpova_vl@mail.ru.

Коренбаум Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник; ФГБН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН; e-mail: v-kor@poi.dvo.ru.

Корнеева Анастасия Александровна – научный сотрудник НИЛ (экспертизы воды и продовольствия) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Костив Анатолий Евгеньевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник; ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН; e-mail: kostiv@poi.dvo.ru.

Котловская Лариса Юрьевна – кандидат медицинских наук, лаборант-исследователь; НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; e-mail: lars.ktl@gmail.com.

Котловский Михаил Юрьевич – доктор медицинских наук, научный сотрудник отдела лекарственной токсикологии; НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; e-mail: m.u.kotlovskiy@mail.ru.

Кривошеков Сергей Георгиевич – доктор медицинских наук, профессор, зав. отделом функциональных резервов и спортивной медицины, зав. лабораторией функциональных резервов организма, главный научный сотрудник; ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»; e-mail: krivosch@physiol.ru.

Кукушкин Евгений Петрович – врач-травматолог отделения травматологии № 2; ГБУЗ «Клиническая больница № 6 им. Г.А. Захарьина», г. Пенза; e-mail: kep131289@gmail.com.

Макарова Ирина Илларионовна – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой физиологии; ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: iim777@yandex.ru.

Малаева Вероника Викторовна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник; Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН; e-mail: vrka@mail.ru.

Мартынова Елена Сергеевна – научный сотрудник НИЛ (медико-биологических проблем водоснабжения войск) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Мидленко Владимир Ильич – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»; e-mail: mf@ulsu.ru.

Мидленко Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»; e-mail: 953151@mail.ru.

Михелькова Юлия Николаевна – ординатор первого года обучения на базе курса неврологии; ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Министерства здравоохранения Чувашской Республики; e-mail: dr.mihelkova@gmail.com.

Морозова Ольга Александровна – доктор медицинских наук, профессор, зав. курсом неврологии; ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Министерства здравоохранения Чувашской Республики; e-mail: drmorozova@mail.ru.

Морскова Валерия Викторовна – ординатор первого года обучения на базе курса неврологии; ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Министерства здравоохранения Чувашской Республики; e-mail: gerasutinal@mail.ru.

Павленко Снежанна Ивановна – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры физиологии человека и животных; ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева»; доцент кафедры медико-биологических дисциплин; ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз»; e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

Панимаскина Анна Владимировна – ассистент кафедры факультетской терапии с курсом клинической фармакологии, зав. терапевтической клиникой; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: doctorpav@yandex.ru.

Почекутова Ирина Александровна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник; старший научный сотрудник; Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН; e-mail: i-poch@poi.dvo.ru.

Ракитина Ирина Сергеевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: rakitina62@gmail.com.

Самойлова Юлия Олеговна – врач-терапевт терапевтической клиники; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: samoylova.ssnu@yandex.ru.

Селезнев Александр Павлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЛ (экспертизы воды и продовольствия) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Сметанин Александр Леонидович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник НИЛ (войскового и рационального питания) НИО (питания и водоснабжения) НИЦ; ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru.

Сухая Юлиана Васильевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры оперативной хирургии, клинической анатомии и патологической анатомии ФПК и ППС; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com.

Татьянченко Владимир Константинович – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой оперативной хирургии, клинической анатомии и патологической анатомии ФПК и ППС; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com.

Урюмцев Дмитрий Юрьевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела функциональных резервов и спортивной медицины; ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»; e-mail: piud@physiol.ru.

Чарышкин Алексей Леонидович – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой факультетской хирургии; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»; e-mail: charyshkin@yandex.ru.

Шаров Дмитрий Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент; ГАУ ДПО «Институт усовершенствования врачей» Министерства здравоохранения Чувашской Республики; e-mail: t-34t@yandex.ru.

Шарова Наталия Николаевна – врач высшей квалификационной категории, зав. Неврологическим отделением; БУ «Центральная городская больница» Минздрава Чувашии; e-mail: cgb@med.cap.ru.

Эдилов Асланбек Висантович – кафедра оперативной хирургии, клинической анатомии и патологической анатомии ФПК и ППС; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: vladimirtatyanchenko1949@gmail.com.

Якимович Инесса Юрьевна – кандидат медицинских наук, доцент, зав. кафедрой гигиены; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: iness2501@yandex.ru.

Яковлева Ксения Николаевна – студентка лечебного факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: physilogtgma@mail.ru.

ИНФОРМАЦИЯ О ЖУРНАЛЕ

1. В журнале публикуются результаты научных исследований в области медицины, биологии, экологии и здоровьесберегающих технологий. Редакцией принимаются научные обзоры, статьи, оригинальные научные сообщения, методические статьи, рецензии и хроника научных событий.

В журнале публикуются материалы по следующим направлениям: 03.02.00 Общая биология (03.02.03 Микробиология, 03.02.08 Экология (прикладная экология; экология человека)); 03.03.00 Физиология (03.03.01 Физиология, 03.03.04 Клеточная биология, цитология, гистология, 03.03.06 Нейробиология); 14.01.00 Клиническая медицина (14.01.01 Акушерство и гинекология, 14.01.04 Внутренние болезни, 14.01.05 Кардиология, 14.01.08 Педиатрия, 14.01.11 Нервные болезни, 14.01.12 Онкология, 14.01.17 Хирургия).

2. Публикация материалов для аспирантов осуществляется бесплатно.

3. Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

4. Материалы проходят рецензирование специалистов, отбираемых редакционной коллегией, и публикуются после получения положительного отзыва рецензентов и членов редакционной коллегии. Редакция оставляет за собой право производить сокращения или стилистические изменения текста, не затрагивающие содержательной стороны статьи, без согласования с автором(ами).

5. Представляемые в редакцию рукописи не могут быть опубликованы ранее в других изданиях (издательствах) или одновременно направлены в другие издания (издательства) для опубликования. Ставя свою подпись под статьей, автор тем самым передает права на издание статьи редакции, гарантирует, что статья оригинальная.

6. Редакция оставляет за собой право отклонить материалы, не отвечающие тематике журнала и оформленные не по правилам.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ АВТОРАМИ ИЗЛОЖЕНЫ НА САЙТЕ

<http://www.ulsu.ru/com/institutes/imephc/ulmedbio/>

Рукописи направлять в адрес редакции:
432017, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, д. 42,
Ульяновский государственный университет,
Институт медицины, экологии и физической культуры,
профессор М.В. Балыкин.

Телефон: 8(8422) 27-24-51 (добавочный – 1);
e-mail: ulsubook@yandex.ru