

Голубев В.Н.¹, Мызников И.А.², Жильцова И.И.¹, Королёв Ю.Н.¹

СТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА НА ГИПОКСИЧЕСКУЮ ТРЕНИРОВКУ (ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА)

¹ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ, г. СПб, ул. Ак. Лебедева, д. 6, Россия

² Военный институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Исследование динамики различных физиологических процессов порой требует от исследователя определить некие «переходные» состояния, позволяющие выявить наличие или отсутствие изменений при действии на организм человека контролируемых факторов. Мызниковым И.А. (per com, 2018) предложено ввести в практику физиологических исследований структурный анализ. Авторами статьи показана возможность построения структурного описания физиологических процессов на модели протокола ингаляции газовой средой с пониженным содержанием кислорода. В статье представлены решающие правила, позволяющие оценивать подобие протоколов ингаляции как между различными испытуемыми, так и индивидуально на этапах исследования по индексу Рябцева. Само исследование структурности не отрицает применение иной статистической практики. Величины структурных различий позволяют формировать более однородные группы испытуемых, а выраженность структурных отличий – говорить об эффективности факторного воздействия (например, гипоксической тренировки). В статье представлен фактически новый подход в оценке подобных функциональных исследований, также этот подход может быть применён и к другим блокам логически связанных показателей, регистрируемых в экспериментах.

Ключевые слова: гипоксия, военная медицина, спортивная медицина, физиологическая адаптация, диагностика, статистический анализ, структурное моделирование

Golubev V. N.¹, Myznikov I. A.², Zhil'cova I. I.¹, Korolyov Y. N.¹,

STRUCTURAL STUDY OF REACTIONS OF HUMAN BODY TO HYPOXIC TRAINING (APPROACHES TO STRUCTURAL ANALYSIS)

¹ Military medical Academy, St. Petersburg, Russia

² Military Institute of Physical Culture, St. Petersburg, Russia

Abstract. The study of the dynamics of various physiological processes sometimes requires the researcher to determine some "transitional" states that allow to identify the presence or absence of changes in the action of controlled factors on the human body. Myznikov I. A. (per com, 2018) proposed to introduce structural analysis into the practice of physiological research. The authors of the article show the possibility of constructing a structural description of physiological processes on the model of the Protocol of Inhalation by a gas medium with a low oxygen content. The article presents the decisive rules that allow to evaluate the similarity of inhalation protocols both between different subjects and individually at the stages of the study on the Ryabtsev index. The study of structure itself does not deny the use of other statistical practices. The values of structural differences allow to form more homogeneous groups of subjects, and the severity of structural differences – to talk about the effectiveness of factorial action (eg, hypoxic training). The article presents a new approach to the evaluation of such functional studies, and this approach can be applied to other blocks of logically related indicators recorded in the experiments.

Keywords: hypoxia, military medicine, sports medicine, physiological adaptation, diagnostics, statistical analysis, structural modeling

Введение. В настоящей работе показано насколько эффективно применение структурного анализа как в практике описания и оценки эффективности гипоксических тренировок, так и подбора однородных групп при планировании эксперимента.

Материалы и методы

Проведено экспериментальное исследование в лабораторных условиях, в котором приняли участие мужчины первой возрастной группы, признанные по состоянию здоровья годными к военной службе.

Для создания нормобарической гипоксии использовался серийный гипоксикатор «Эверест». Гипоксическая тренировка (ГТ) проводилась курсом из 10 сеансов по 90 мин каждый в режиме «подъёма» на высоту на 2000 2500 метров в камере «Табай».

Перед и после курса ГТ проводилась 15-ти минутная гипоксическая проба с процентным содержанием кислорода во вдыхаемой смеси 10%. Во время пробы, непосредственно перед ней и в течение 3-х мин, после перехода на дыхание атмосферным воздухом регистрировались: сатурация крови кислородом (SpO₂) и частота сердечных сокращений (ЧСС).

Рассчитывался индекс гипоксии (IG, IG = ЧСС / SpO₂), оценивалось влияние инспираторной гипоксии по результатам фонового измерения (фон), а также измерений в период ингаляции (i = 1, 2, ... n, n – количество минут ингаляции ГТС – 10: IG_{фон} – значение индекса перед ингаляцией; IG₁ – значение индекса на 1-ой минуте ингаляции, IG₂ –

на 2-ой минуте, IG₃ – на 3-ей и т.д.) по предложенному показателю – Index-summa (IS)) [2].

Измерения в период восстановления после пробы в расчёт не принимались. Эффективность серии гипоксических тренировок оценивалась по формуле: ЭГТ = (IS_{до} - IS_{после}) / IS_{до}.

Мызниковым И.А. было предложено в качестве перспективного направления в описании результатов (интервальных) гипоксических тренировок и их сравнительной оценки, применять структурный анализ на основе индексного подхода (per.com, 27 сентября 2018 года, И.А. Мызников, доклад на НПК СПбНИИФК «Актуальные проблемы в области физической культуры и спорта»).

Применение индексного подхода в медико-биологических исследованиях позволяет перейти к более сложной агрегированной величине, информативной к выявлению структурных различий, к её структурной динамике, которая является следствием устойчивости и качественного состояния биологической системы [4, 5]. Для этих целей применяют индексы, позволяющие сравнить структурность объекта изучения (индексы К. Гатева, А.С. Казинца, А. Салаи, В. Рябцева и др. (цит. по [5])). Наиболее разработанной в оценочном плане является методика, основанная на расчёте индекса В.Рябцева (I_R) [3, 4,6].

$$I_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^2 - d_1^2)^2}{\sum_{i=1}^n (d_i^2 + d_1^2)^2}}$$

где d_i^1 и d_i^2 – величины i -го параметра ($i = \overline{1, n}$) в 1-ой и 2-ой системах

При сравнении динамики одной рассматриваемой системы на этапах её исследования («до» – «после») формула приобретает вид:

$$I_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^{\text{после}} - d_i^{\text{фон}})^2}{\sum_{i=1}^n (d_i^{\text{после}} + d_i^{\text{фон}})^2}}$$

где $d_i^{\text{после}}$ и $d_i^{\text{фон}}$ – величины i -го параметра при тестировании после и до гипоксических тренировок; i – число градаций в дизайне ингаляции гипоксической газовой смеси.

Этот индекс имеет определённый интервал возможных значений от 0 («идентичность структур») до 1 («полное различие»), а также автор – разработчик методики I_R провёл шкалирование данной величины (таблица 1). Поэтому I_R позволяет дать характеристику меры структурных различий (цит. по [3]).

Таблица 1

Шкала оценки меры существенности структурных различий для оценки эффективности ГТ

Шкала различий по индексу Рябцева (цит. по [4]).		Предлагаемая нами интерпретация для оценки эффективности ИГТ
Интервал значений индекса	Характеристика меры структурных различий	
0,000 – 0,030	тождественность структур	эффективность сомнительна
0,031 – 0,070	весьма низкий уровень различия структур	эффективность сомнительна
0,071 – 0,150	низкий уровень различия структур	малоеффективна
0,151 – 0,3	существенный уровень различия структур	эффективна
0,301 – 0,5	значительный уровень различия структур	очень эффективна
0,501 – 0,7	весьма значительный уровень различия структур	
0,701 – 0,9	противоположный тип структур	очень эффективна, но следует проверить качество тестирования на сравниваемых этапах и правильность произведённых расчётов
0,901 и выше	полная противоположность структур	

Результаты и обсуждение. Эффективно охарактеризовать результаты одного этапа исследования (за выборку наблюдений) на основе первичных или комплексных величин или дать описательное сравнение различных изменений у сравниваемых испытуемых (индивидуальная оценка), опираясь на рассматриваемые показатели (SpO_2 и ЧСС), не всегда представляется возможным, о чём мы уже говорили ранее [2].

Нами, по первичным результатам (фона и 15-ти мин ингаляции) были рассчитаны Index-summa

(IS) [2] и эффективность гипоксических тренировок (ЭГТ), а также I_R .

На рисунке 1 представлена динамика средних выборочных значений по этапам в схеме исследования до и после серии ГТ I_R в этом наблюдении составил 0,028, что свидетельствует о «тождественности структур» или сомнительной эффективности проведённых ГТ, если рассматривать результат в целом за всю группы. Поэтому мы проанализировали наблюдения отдельных испытуемых (табл. 2, рис. 2).

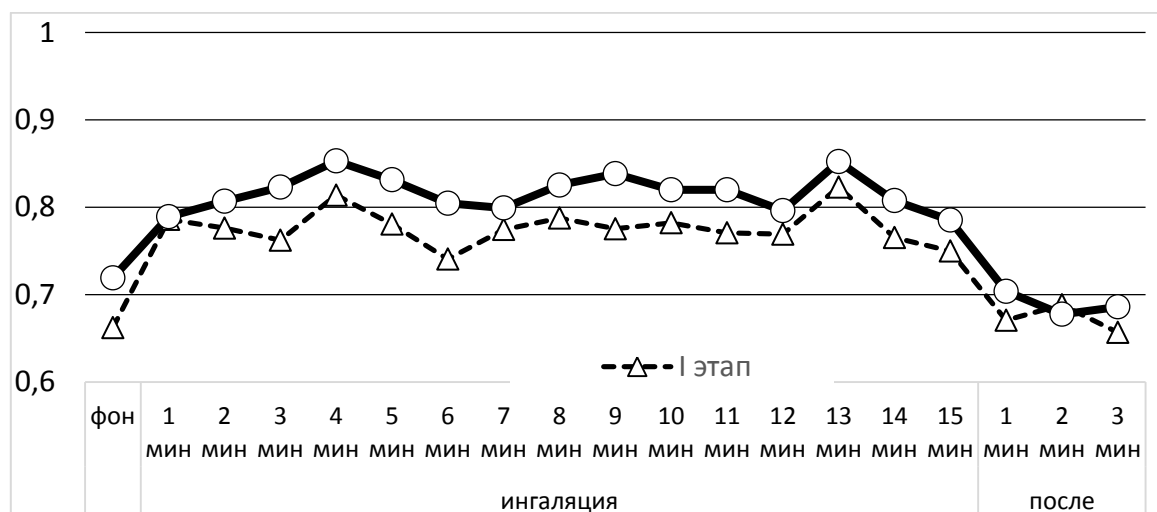


Рис. 1. Модель изменение среднего выборочного значения IG (в усл.ед.) на этапах ингаляции, на I и II этапах

Таблица 2

Сравнительная оценка некоторых индивидуальных результатов сравнения эффективности ГТ до и после их проведения

Наблюдение (испытуемый)	IS	ЭГТ	I_R	Толкование результата по I_R
1	2	3	4	5
ББС	2,19	0,63	0,044	весьма низкий уровень различия структур
	0,80			
ННА	2,86	0,49	0,060	весьма низкий уровень различия структур
	1,47			
РРА	1,63	0,44	0,076	низкий уровень различия структур
	0,92			
ТСВ	2,76	0,57	0,096	низкий уровень различия структур
	1,19			

Из этого следует, что из-за различных функциональных состояний, особенностей событий в период тренировок эффективность ГТ у испытуемых может варьировать в пределах различной её выраженности.

Поэтому, помимо групповой статистики при анализе ЭГТ необходимо учитывать индивидуальные результаты. Процент лиц в группе, у которых по результатам тестирования $I_R \geq 0,071$, может также характеризовать эффективность подобного воздействия с целью расширения резервных возможностей организма.

Если ещё раз обратиться к табл. 2, то видно, что ЭГТ и I_R не всегда коррелируют. Это вызвано тем, что эффективность ГТ рассчитывается из показателя, характеризующего напряжение приспособительных реакций, а I_R из подобию на этапах исследования. Например (табл. 2), испытуемый ББС при более высокой ЭГТ (0,63) продемонстрировал весьма низкий уровень различия структур (0,044), в то время как испытуемый РРА при меньшей ЭГТ (0,44) продемонстрировал более выраженное различие структур (0,076).

Подобные результаты позволяют предположить, что оперирование этими величинами (ЭГТ и I_R) при характеристике проведённого исследования, может стать индикатором механизма, которым реализуется приспособительный процесс.

Приспособительное реагирование может происходить преимущественно за счёт повышения резервов, без существенных временных сдвигов при ответе организма на гипоксию. Или временными изменениями последовательности реагирования, ведущими к деформации фоновой структуры кривой. Нельзя исключать и возможность смешанного механизма ответных реакций. Это направление требует дальнейшего исследования.

Структурный анализ также позволяет нам сравнить структурную однородность между результатами тестирования выше продемонстрированных испытуемых на I этапе (табл. 3). Мы предлагаем называть подобные таблицы по аналогии с корреляционным анализом – «матрица структурных различий».

Таблица 3

Матрица структурных различий

		Испытуемые							
		ННА	РРА	ДСС	ЗВС	ТСБ	ГГВ	МИА	НВВ
испытуемые	ББС	0,106	0,147	0,065	0,127	0,125	0,058	0,045	0,048
	ННА		0,227	0,141	0,225	0,202	0,141	0,087	0,124
	РРА			0,101	0,039	0,048	0,105	0,149	0,112
	ДСС				0,098	0,085	0,057	0,066	0,048
	ЗВС					0,041	0,105	0,148	0,112
	ТСБ						0,093	0,127	0,092
	ГГВ							0,069	0,041
	МИА								0,050

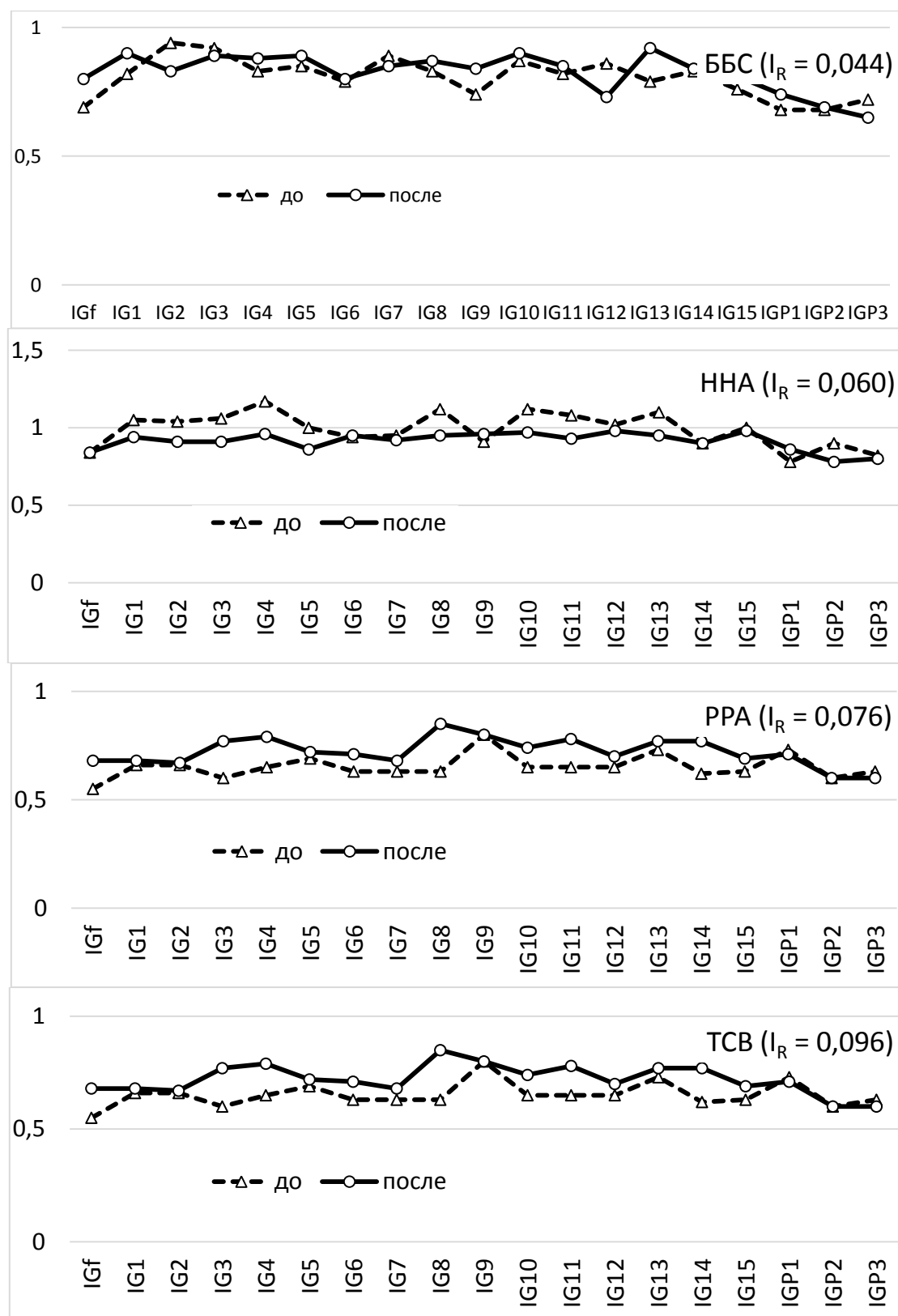


Рис. 2. Примеры динамики IG в рассматриваемых протоколах ингаляции ГГС-10 у некоторых испытуемых (см. табл. 2) при различной структурной неоднородности

Из результатов таблицы 3 видно, что «весьма низкий уровень различия» (см. табл. 1) при фоновом исследовании имел место при сравнении испытуемых РРА и ТСБ ($I_R = 0,048$). Испытуемый ББС с тремя другими испытуемыми также на этапе до серии интервальных ГТ имел «низкий уровень различия структур» (I_R соответственно: 0,106, 0,147 и 0,125). А испытуемый ННА с испытуемым РРА ($I_R = 0,227$) и испытуемым ТСБ ($I_R = 0,202$) имел «существенный уровень различия структур».

Аналогичную матрицу структурной однородности мы можем построить на любом другом этапе исследования в зависимости от целей эксперимента, в том числе и на этапе после серии интервальных ГТ, включив все элементы выборки (всех испытуемых). Речь будет идти лишь о смысловой нагрузке, которую мы достигаем этим моделированием

Заключение

В настоящей статье показана возможность построения структурного описания протокола ингаляции газовой средой с пониженным содержанием кислорода, представлены решающие прави-

ла, позволяющие оценивать подобие протоколов ингаляции как между различными испытуемыми, так и у одного испытуемого на этапах исследования по индексу Рябцева, что позволяет вскрывать схожесть или отличие рассматриваемых систем. Однако, следует помнить, что структура откликов функциональной системы на воздействие учитываемых факторов может быть оценена как критериями структурной однородности (различия), так и значимостью динамики однородных (парных) параметров в рамках одномерной (многомерной) статистики. Исследование структурности не отрицает применение иной статистической практики!

Отсутствие структурных различий позволяет формировать более гомогенные группы испытуемых, а выраженность структурных отличий – говорить об эффективности факторного воздействия (например, гипоксической тренировки).

В статье представлен фактически новый подход в оценке подобных функциональных исследований, также этот подход может быть применён и к другим блокам логически связанных показателей, регистрируемых в экспериментах.

Список источников

1. Мызников И.А., Глико А.И., Паюсов Ю.А., Шагалава А.Н., Решетнёв В.Г. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты. Пособие для врачей. / под. общей ред. И.А.Мызникова. - Мурманск: Издательство «Север», 2008. - 128 с. (Пособие для врачей)
2. Мызников И.А., Александрова (Головина) А.А., Вьюшина А.В., Кобанов М.В., Лункин А.Н., Шапошник В.В., Аскерко Н.В. Способ описания реакций организма человека на контролируемую нормобарическую гипоксическую гипоксию // Медико-биологические аспекты физической подготовки и спорта в ВС РФ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 180-летию со дня рождения П.Ф. Лесгафта (1837-1909), 05-06 октября 2017 г. / Под ред. докт. пед. наук, проф. А.А. Обвинцева, докт. пед. наук, проф. Е.Н. Курьянович. Часть 3. - СПб.: «Маматов», 2017. - 188 с. (С. 122 – 129).
3. Перстенёва Н.П. Критерии классификации показателей структурных различий и сдвигов // Фундаментальные исследования. - 2012. - № 3-2. - С. 478-482; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29633> (дата обращения: 12.10.2018).
4. Рябцев В.М., Чудилин Г.А. Региональная статистика. - М.: МИД, 2001. - 380 с.
5. Статистика [Текст]: учебник / под ред. А.Е. Суринова. - М.: РАГС, 2005. - 656 с.
6. Сыроеждин, И. М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества. - М.: Экономика, 1980. - 192 с.
7. Вучейская Д.С. и др. Оценка профессионального здоровья с позиций системного подхода. Изв. Рос. Воен.-мед. акад. 2019. Т. 38. № 33. С. 62-65.
8. Медведев Д.С. и др. Методика оценки устойчивости к стрессу при физической нагрузке. Изв. Рос. Воен.-мед. акад. 2019. Т. 38. № 33. С. 139-142.
9. Григорьев С.Г. и др. Пакет прикладных программ Statgraphics на персональном компьютере. СПб, 1992. 104 с.
10. Гублер Е.В. и др. Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях. Москва, 1969. 31 с.
11. Степанов А.П. и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник / Омск, 2019. Том Часть 1 Основы безопасности жизнедеятельности. 299 с.
12. Иванов В.В. и др. Решение военно-медицинских задач с использованием общего программного обеспечения. СПб, 2019. Часть 2 MS Word. 96 с.
13. Корольков А.А., Петленко В.П. Философские проблемы теории нормы в биологии и медицине. Москва, 1977. 391 с.
14. Петленко В.П. Основные методологические проблемы теории медицины. Ленинград, 1982. 115 с.
15. Ушаков И.Б., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Физиология труда и надежность деятельности человека / Российская академия наук, Отделение биологических наук. Москва, 2008. 113 с.
16. Бехтерев В.М. Вопросы общественного воспитания. Психоневрологический институт. Москва, 1910. 41 с.
17. Зайцев Г.К. и др. Педагогика здоровья: образовательные программы по валеологии. СПб, 1994. 78 с.
18. Утенко В.Н. и др. Физическая подготовка иностранных армий. СПб, 2007. 272 с.
19. Щеголев В.А., Щедрин Ю.Н. Теория и методика здорового образа жизни с использованием средств физической культуры. СПб, 2011. 210 с.
20. Болотин А.Э. и др. Педагогическая модель физической подготовки курсантов Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова с акцентированным развитием выносливости. Вестник Рос. воен.-мед. акад. 2016. № 1 (53). С. 256-259.
21. Сапов И.А., Солодков А.С. Состояние функций организма и работоспособность. Ленинград, 1980. 192 с.
22. Фисун А.Я. и др. Системные и надсистемные факторы медицинского обеспечения. Материалы всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 70-72.
23. Иванов В.В. и др. Решение военно-медицинских задач с использованием общего программного обеспечения. СПб, 2017. Часть 1 MS Excel. 185 с.