

УДК 159.91

<https://doi.org/10.17816/MAJ19243-52>

ВЛИЯНИЕ ДОВУЗОВСКОЙ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И КАРДИОВАСКУЛЯРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

К.И. Павлов¹, М.И. Петренко¹, А.В. Сырцев¹, А.Н. Архимук¹, Е.А. Михеева¹, С.В. Николаева¹,
Н.М. Андиева¹, В.Н. Мухин², В.Н. Сысоев³

¹ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург;

² ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины», Санкт-Петербург;

³ ФГБ ВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург

Для цитирования: Павлов К.И., Петренко М.И., Сырцев А.В., и др. Влияние довузовской военной подготовки на психофизиологические и кардиоваскулярные характеристики когнитивных функций // Медицинский академический журнал. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 43–52. <https://doi.org/10.17816/MAJ19243-52>

Поступила: 06.03.2019

Одобрена: 30.04.2019

Принята: 30.05.2019

Цель работы — установить связь психофизиологических и кардиоваскулярных характеристик когнитивных функций с опытом довузовской военной подготовки курсантов. Объект исследования — курсанты первого курса военного института (военно-морского) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» ($n = 125$). Выделено две группы: первая группа — без опыта довузовской военной подготовки ($n = 81$), вторая группа — выпускники суворовских (нахимовских) училищ ($n = 44$). Выполняли антропометрические измерения, физиологические и психофизиологические пробы, электроэнцефалографию, анализ вариабельности сердечного ритма и пальцевую фотоплетизмографию. Достоверность межгрупповых отличий определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Установлено, что курсанты исследуемых групп имеют ряд отличительных особенностей антропометрических показателей, психофизиологических характеристик когнитивных функций, а также их электрофизиологических проявлений, свидетельствующих о влиянии опыта довузовской военной подготовки на эти особенности.

Ключевые слова: когнитивные функции; биоэлектрическая активность мозга; вариабельность сердечного ритма; электроэнцефалография; фотоплетизмография.

THE EFFECT OF MILITARY-TRAINING EXPERIENCE ON PSYCHOPHYSIOLOGICAL AND CARDIOVASCULAR CHARACTERISTICS OF COGNITIVE FUNCTIONS

K.I. Pavlov¹, M.I. Petrenko¹, A.V. Syrtsev¹, A.N. Archimuk¹, E.A. Mikheeva¹, S.V. Nikolaeva¹, N.M. Andieva¹,
V.N. Mukhin², V.N. Sysoev³

¹ Saint Petersburg, Russia, N.G. Kuznetsov Naval Academy;

² Saint Petersburg, Russia, Institute of Experimental Medicine;

³ Saint Petersburg, Russia, S.M. Kirov Military Medical Academy

For citation: Pavlov KI, Petrenko MI, Syrtsev AV, et al. The effect of military-training experience on psychophysiological and cardiovascular characteristics of cognitive functions. *Medical Academic Journal*. 2019;19(2):43-52. <https://doi.org/10.17816/MAJ19243-52>

Received: March 6, 2019

Revised: April 30, 2019

Accepted: May 30, 2019

The aim of our research is to studying the effect of military-training experience on physical development, cognitive functions and their electrophysiological and cardiovascular characteristics. The object was cadets of the first course of the Naval institute ($n = 125$). All cadets have been divided into two groups: cadets of the 1st group had no of military-professional experience ($n = 81$), cadets of the 2nd group was graduated from Suworov Military (Nakhimov Naval) High Schools ($n = 44$). We used anthropometrical measurements, physiological and psychophysiological tests, methods of electroencephalography, photoplethysmography and analysis of heart rate variability. To confirm significance of differences between groups ANOVA was used. Cadets of the investigated groups had many distinctive features in physical development, cognitive functions and their electrophysiological and cardiovascular characteristics witch demonstrated the effect of military-training experience.

Keywords: cognitive functions; bioelectrical activity of cortex; heart rate variability; EEG; photoplethysmography.

Список сокращений

АСВ — амплитуда систолической волны; ВМКН — время медленного кровенаполнения; ВНС — вегетативная нервная система; ВПА — военно-профессиональная адаптация; ВР — вариационный размах; ВСР — вариабельность сердечного ритма; ДВП — довузовская военная подготовка; ДКИ — дикротический индекс; ДПВ — длительность пульсовой волны; ДСИ — диастолический индекс; И — амплитуда инцизуры; ИН — индекс напряжения; МОЧСС — математическое ожидание мгновенной частоты сердечных сокращений; МУ — модуль упругости; ПЭС — показатель эластичности сосудов артериального русла; ССМКН — средняя скорость медленного кровенаполнения; тест РДО — тест «реакция на движущийся объект»; ФПГ — фотоплетизмография; ЭЭГ — электроэнцефалография; HF — относительная мощность в частотных диапазонах высокой частоты; LF — относительная мощность в частотных диапазонах низкой частоты; LF/HF — коэффициент вазосимпатического баланса; RMSSD — средне-квадратическое различие смежных RR-интервалов; SD — стандартное отклонение RR-интервалов; TP — общая спектральная мощность модулирующей сердечного ритма; VLF — относительная мощность в частотных диапазонах очень низкой частоты.

Введение

Опыт довузовской военной подготовки (ДВП), казалось бы, предоставляет выпускникам суворовских (нахимовских) училищ очевидные преимущества в процессе адаптации к обучению в военном вузе. Однако с окончанием «курса молодого бойца» и с началом обучения по программам высшего образования прогноз военно-профессиональной адаптации (ВПА), построенный на основе простой аппроксимации, как правило, оказывается недостоверным. Рейтинги по результатам психологических обследований, социометрическим индексам, показателям успеваемости и другим внешним критериям успешности ВПА свидетельствуют о весьма ограниченном значении опыта ДВП и не позволяют установить надежные связи перечисленных показателей с этим опытом [1]. Под ВПА в данной работе понимается приспособление курсантов к условиям обучения в военном вузе по программам высшего образования, а также к несению военной службы с целью выполнения задач в соответствии с военно-учетной специальностью, в том числе в субэкстремальных и экстремальных условиях боевых действий. Предполагается, что основу эффективной ВПА курсантов к этим условиям составляет сочетание опыта ДВП и высокого уровня развития когнитивных функций. Наиболее информативным подходом к изучению когнитивных функций и определению их роли в ВПА является комплексное использование физиологических и психофизиологических проб, антропометрических измерений и электрофизиологических методик электроэнцефалографии (ЭЭГ), анализа variability сердечного ритма (ВСР) и фотоплетизмографии (ФППГ). В пользу этого подхода свидетельствует ряд работ, демонстрирующих связи ВСР с функциями лобных долей головного мозга и когнитивными функциями восприятия, скоростью психомоторных реакций и познавательной активностью [2–5]. В литературе отсутствуют сведения, касающиеся физиологических механизмов когнитивных функций и ВПА у курсантов первого курса военно-морских институтов, а также отражающие влияние на ВПА опыта ДВП.

Цель работы — установить связь психофизиологических и кардиоваскулярных характеристик когнитивных функций с опытом довузовской военной подготовки курсантов.

Материалы и методы

Объект исследования — курсанты первого курса военного института (военно-морского) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

($n = 125$). Курсанты были разделены на две группы: 1-я группа без опыта ДВП ($n = 81$, возраст $18 \pm 0,77$ года), 2-я группа — выпускники суворовских (нахимовских) училищ ($n = 44$, возраст $18 \pm 0,70$ года). Критерии включения в исследование: добровольное согласие на проведение исследования, положительная субъективная оценка самочувствия и качества сна, отсутствие противопоказаний к прохождению обследования по причине заболеваний, объективная положительная оценка текущего нервно-психического состояния, полученная с помощью восьмицветового теста М. Люшера по показателям вегетативного коэффициента и суммарного отклонения от аутогенной нормы. С целью оценки физического и физиологического состояния проводили дыхательные пробы Штанге (с) и Генчи (с) (без физической нагрузки), спирометрию для определения дыхательного объема (л) и жизненной емкости легких (л), измеряли артериальное давление (мм рт. ст.), а также рост (см), вес (кг), сагиттальную окружность головы с помощью измерительной ленты: от точки в середине лба между бровями над переносицей (glabella), вдоль сагиттального шва, через темя до места пересечения верхних выйных линий и средней сагиттальной линии (см). Далее выполняли электрофизиологическое исследование индивидуально с каждым испытуемым в одно и то же время суток однократно (в интервале от 15:00 до 16:00).

Селективное внимание, рабочую память, пространственную ориентацию, мышление исследовали с помощью ряда психофизиологических тестов с одновременной регистрацией электрофизиологических показателей ЭЭГ, ВСР, ФППГ. Для этого использовали аппаратный комплекс объективного психологического анализа и тестирования «Реакор» с частотой дискретизации 250 Гц (НПКФ Медиком МТД, Таганрог). Проведено восемь серий функциональных проб: 1) в состоянии покоя с закрытыми глазами; 2) в состоянии покоя с открытыми глазами; 3) в период выполнения теста «красно-черные таблицы Шульце — Платонова» (7×7 ячеек); 4) во время выполнения теста «часы с поворотом»; 5) в момент выполнения теста «реакция на движущийся объект» (РДО); 6) при предъявлении задачи «устный счет при закрытых глазах»; 7) в состоянии покоя с открытыми глазами после когнитивных функциональных проб; 8) в состоянии покоя с закрытыми глазами после когнитивных функциональных проб. Время регистрации электрофизиологических параметров в каждой серии — 5 мин. ЭЭГ регистрировали в левом и правом центральных отведениях

(С3 и С4), расположенных по стандартной системе 10–20 в симметричных точках правого и левого полушария. Референтные электроды (А1, А2) располагали в области сосцевидных отростков. Величина импеданса не превышала 10 кОм. Определяли относительные значения мощностей по основным зонам спектра ЭЭГ: дельта-1 (0,50–2,0 Гц), дельта-2 (2,0–4,0 Гц), тета (4,0–8,0 Гц), альфа (8,0–13,0 Гц), бета-1 (13,0–24,0 Гц), бета-2 (24,0–35,0 Гц) в каждом из отведений (в процентах). Сердечный ритм регистрировали при помощи электрокардиограммы. Парные электроды для записи электрокардиограммы располагали на запястье левой руки и нижней трети шеи слева и спереди от грудино-ключично-сосцевидной мышцы. Регистрировали статистические и спектральные характеристики электрокардиограммы: математическое ожидание мгновенной частоты сердечных сокращений — МОЧСС (уд/мин): $МОЧСС = 60000/RRNN$, где RRNN — продолжительность последовательных RR-интервалов; стандартное отклонение RR-интервалов — SD (мс); среднее квадратическое различие смежных RR-интервалов — RMSSD (мс); вариационный размах — BP (с); индекс напряжения — ИН (%/с²); общую спектральную мощность модуляций сердечного ритма — TP (мс²); относительную мощность в частотных диапазонах: высокой частоты (0,40–0,15 Гц) — HF (%), низкой частоты (0,15–0,04 Гц) — LF (%), очень низкой частоты (0,04–0,0033 Гц) — VLF (%); коэффициент вагосимпатического баланса — LF/HF (y.e.).

Для регистрации ФПГ использовали инфракрасный отражающий фотоэлектронный датчик, работающий на длине волны 950 нм, который закрепляли на среднем пальце левой руки. Датчик фиксировал изменения количества света, поглощенного гемоглобином, которые отражают объемные характеристики пульсовой волны. Регистрировали амплитудные, временные и скоростные показатели периферической гемодинамики: амплитуду систолической волны — ACB (pm); амплитуду быстрого кровенаполнения — ABKH (pm); амплитуда конечной диастолической фазы — АКДФ (pm); амплитуду систолической фазы венозной компоненты — АСФВК (pm); амплитуду инцизуры — И (pm); длительность пульсовой волны — ДПВ (мс); время распространения пульсовой волны — ВРПВ (мс); время быстрого кровенаполнения — ВБКН (мс); время медленного кровенаполнения — ВМКН (мс); время максимального систолического наполнения — ВМСН (мс); скорость распространения пульсовой волны (по зубцу Q) — СРПВ (м/с); максимальную скорость быстрого кровенаполнения —

МСБКН (м/с); среднюю скорость медленного кровенаполнения — ССМКН (м/с); дикротиический индекс — ДКИ (%); диастолический индекс — ДСИ (%); показатель эластичности сосудов артериального русла — ПЭС (%); модуль упругости — МУ (%).

С помощью программного обеспечения аппаратного комплекса «Реакор» были выявлены и вручную удалены выраженные глазодвигательные и мышечные артефакты, единичные спайки и острые волны. Для подавления оставшихся электрокардиографических, миографических и окулографических артефактов при выполнении когнитивных задач использовали такие функции программного обеспечения, как сглаживание и интерполяция выбросов и ошибочных данных. С целью математико-статистического анализа рассчитывали среднее значение и среднее квадратическое отклонение. Все показатели проверяли на нормальность распределения с применением критериев «эксцесс» и «асимметрия». Статистическую достоверность межгрупповых отличий между параметрами антропометрических измерений, физиологических проб, когнитивных тестов и их электрофизиологическими проявлениями по параметрам ВСР, ЭЭГ и ФПГ в разных сериях исследования устанавливали с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA. Для определения уровня точности классификации по группирующему критерию наличия/отсутствия опыта ДВП выполняли дискриминантный анализ по методу Уилкса, относящийся к категории пошаговых методов и основанный на минимизации коэффициента Уилкса (k) после включения в уравнение регрессии каждого нового предиктора. Критерием для включения предикторов в уравнение регрессии было значение $F > 3,84$, а критерием для исключения предикторов из уравнения — значение $F < 2,71$. Предикторами, включенными в анализ, являлись антропометрические, физиологические, психофизиологические и электрофизиологические параметры.

Результаты и обсуждение

Установлена значимая статистическая зависимость между опытом ДВП и антропометрическими, физиологическими характеристиками обследуемых, уровнем развития когнитивных функций и их электрофизиологическими проявлениями. Показано, что у курсантов второй группы масса тела, рост и сагитальная окружность головы меньше по сравнению с курсантами первой группы (табл. 1).

У курсантов второй группы жизненная емкость легких была меньше, а время задерж-

Таблица 1 / Table 1

Антропометрические и физиологические характеристики курсантов исследуемых групп
Anthropometrical and physiological characteristics of cadets in investigated groups

Группа	Вес, кг	Рост, см	Сагиттальная окружность головы, см	Проба Штанге, с	Жизненная емкость легких, л
1	75,68 ± 8,84	180,27 ± 6,17	38,88 ± 1,32	75,07 ± 19,70	4,78 ± 0,69
2	71,22 ± 8,70	177,02 ± 6,96	38,31 ± 1,42	86,34 ± 17,82	4,44 ± 0,63
Индекс F/p	$F = 7,3; p = 0,01$	$F = 7,2; p = 0,01$	$F = 5,0; p = 0,03$	$F = 10,0; p = 0,001$	$F = 7,7; p = 0,01$

Примечание. F — значение критерия Фишера; p — уровень значимости.

ки дыхания на вдохе в пробе Штанге больше по сравнению с курсантами первой группы. Следовательно, курсанты, обладающие опытом ДВП, возможно, имеют более высокую устойчивость к гипоксии, несмотря на конституциональные особенности, связанные с меньшими значениями антропометрических показателей. В литературе представлены сведения, касающиеся психофизиологических особенностей, а также характеристик ЭЭГ, зависящих от типа конституции [6], что служит основанием для проведения в будущем дополнительных исследований в этом направлении.

Установлено, что курсанты второй группы в тесте «красно-черные таблицы Шульте — Платонова» в серии, где необходимо было как можно быстрее отмечать черные цифры в порядке возрастания, допускали меньшее количество ошибок ($0,16 \pm 0,57$), чем курсанты первой группы без опыта ДВП ($0,54 \pm 1,08$) ($F = 4,7; p = 0,03$). При выполнении теста РДО у курсантов второй группы зафиксировано большее число опережающих реакций ($46,36 \pm 17,68$) и меньшее количество запаздывающих реакций ($86,39 \pm 17,44$) на визуальные стимулы в сравнении с курсантами первой группы, у которых число опережающих реакций было $38,04 \pm 18,95$ ($F = 5,8; p = 0,02$), а число запаздывающих реакций — $100,48 \pm 20,37$ ($F = 15,1; p = 0,001$). Результаты, полученные по тестам «красно-черные таблицы Шульте — Платонова» и РДО, могут свидетельствовать о том, что курсанты второй группы обладают более высоким уровнем развития устойчивости произвольного внимания, а также характеризуются более выраженным смещением баланса нервных процессов в сторону возбуждения. Курсанты второй группы выполняли меньшее количество заданий в тесте «часы с поворотом» с фиксированным временем его прохождения ($26,18 \pm 6,71$) в сравнении с обследуемыми первой группы ($29,10 \pm 7,89; F = 4,3; p = 0,04$). При этом максимальное время выполнения одного задания (с) у курсантов второй группы было достоверно больше ($38,07 \pm 10,66$), чем у кур-

сантов первой группы ($34,07 \pm 10,57; F = 4,0; p = 0,05$). Это может указывать на более низкую эффективность функций пространственной ориентации и низкий индивидуальный темп деятельности, возможно, сочетающиеся с более выраженным сосредоточением внимания на решаемой задаче.

Получены убедительные данные о влиянии ДВП на электрофизиологические проявления когнитивных функций. В правом центральном отведении при фоновой записи ЭЭГ с закрытыми глазами в начале исследования мощность ритма дельта-1 была меньше у курсантов второй группы ($2,51 \pm 1,01$) в сравнении с курсантами первой группы ($3,52 \pm 3,29; F = 4,0; p = 0,05$). Согласно классическим представлениям дельта-ритм ЭЭГ взрослого здорового человека отражает снижение коркового тонуса и активацию процессов торможения [7]. В этой же группе и в этом же отведении, но при решении задач в тесте «красно-черные таблицы Шульте — Платонова» мощность альфа-ритма была ниже ($7,96 \pm 2,77$), чем у курсантов без опыта ДВП ($9,50 \pm 4,56; F = 4,1; p = 0,04$). Это согласуется с ранними работами, демонстрирующими, что угнетение альфа-активности происходит в процессе обучения ориентировочной реакции, умственной деятельности или возбуждения нервной системы [8]. Вероятно, для курсантов второй группы в процессе предъявления когнитивных задач на внимание характерна более выраженная активация сенсомоторной зоны коры правого полушария. Вместе с этим показано, что альфа-ритм ($8,0$ – $13,0$ Гц), составляя основу ритмической активности мозга, генетически обусловлен и высоко индивидуализирован [9]. Это дает основание предполагать наличие генетически детерминированных связей альфа-ритма с конституциональными особенностями. В левом центральном отведении в серии «устный счет» при закрытых глазах мощность ритма бета-1 была достоверно меньше у курсантов второй группы ($2,64 \pm 0,92$) в сравнении с обследуемыми первой группы ($3,25 \pm 1,71; F = 4,8; p = 0,03$). Это в соответ-

ствии с данными литературы может отражать процессы синхронизации ЭЭГ и снижения активности сенсомоторной коры у курсантов второй группы [8].

Установлены достоверные межгрупповые отличия между характеристиками ВСР и фотоплетизмографическими параметрами периферической гемодинамики, также свидетельствующие о влиянии ДВП. Курсанты с опытом ДВП имели более низкую частоту сердечных сокращений, более высокие значения стандартного отклонения RR-интервалов (SD) и вариационного размаха во всех сериях исследования по сравнению с курсантами без такого опыта (табл. 2). То же можно сказать и о межгрупповых отличиях по параметру RMSSD, среднее значение которого достоверно различается во всех сериях, кроме фоновой серии с открытыми глазами в начале исследования. Согласно литературным данным увеличение значений временных характеристик ВСР — SDNN и RMSSD с одновременным уменьшением QTVI (QT Variability Index) коррелировало с лучшим выполнением когнитивных тестов (теппинг-теста и др.) и сокращением времени психомоторных реакций [10]. Кроме того, ИН был ниже у курсантов второй группы во время выполнения теста «часы с поворотом» ($63,28 \pm 67,13$; $F = 5,2$; $p = 0,03$) и в серии устного счета при закрытых глазах ($70,69 \pm 58,73$; $F = 7,7$; $p = 0,01$) по сравнению с курсантами первой группы (ИН в серии «часы с поворотом» — $90,61 \pm 62,61$; ИН в серии устного счета при закрытых глазах — $102,35 \pm 61,78$). Возможно, курсанты второй группы обладают более выраженной ВСР и тратят меньше физиологических ресурсов на выполнение наиболее сложных когнитивных тестов. Вместе с этим однонаправленные изменения показателей ВСР в фоновых и когнитивных сериях могут быть следствием более высокого уровня физической подготовленности и тренированности курсантов второй группы. В пользу этого предположения свидетельствует то, что у курсантов второй группы зафиксированы большие значения общей спектральной мощности модуляций сердечного ритма (TP) во всех сериях исследования, относительной мощности в диапазоне высоких частот (HF) в сериях «красночерные таблицы Шульце — Платонова» и «часы с поворотом». Для них также были характерны более низкие значения относительной мощности в диапазоне низких частот (LF) в сериях «часы с поворотом» и в обеих фоновых сериях в конце исследования. В соответствии с данными литературы одновременное увеличение значений индекса HF и снижение значений LF может отражать преобладание парасимпа-

тического влияния вегетативной нервной системы (ВНС) на сердечный ритм [11, 12]. Это подтверждают и межгрупповые достоверные отличия по показателю VLF, значение которого было выше во второй группе в фоновой серии с открытыми глазами в конце исследования ($41,30 \pm 13,78$) в сравнении со значениями этого показателя в первой группе ($34,29 \pm 13,60$; $F = 7,5$; $p = 0,01$). В литературе представлено множество работ, указывающих на связи параметра VLF с механизмами терморегуляции, физиологической адаптацией, энергодефицитными, иммунными, кислородзависимыми процессами, эмоциональными психическими процессами и генетически детерминированными депрессивными состояниями, а также с концентрацией катехоламинов и ренин-ангиотензина, эндотелиальными механизмами вазорегуляции и активностью парасимпатического отдела ВНС [13–16].

Кроме этого, нормальные значения VLF характеризуют состояние покоя и работу здорового организма, а смещение показателей ВСР в область спектра с низкими частотами LF характерно для состояния стресса и активации симпатического отдела ВНС [17]. Это подтверждают и межгрупповые различия в коэффициентах вагосимпатического баланса LF/HF. Так, он выше у курсантов первой группы в сериях «часы с поворотом» ($3,02 \pm 1,68$; $F = 5,6$; $p = 0,02$) и в фоновой серии с закрытыми глазами в конце исследования ($2,41 \pm 1,93$; $F = 4,1$; $p = 0,05$) по сравнению с соответствующими значениями этого параметра у курсантов второй группы ($2,25 \pm 1,82$ и $1,76 \pm 1,24$ соответственно). При этом в литературе представлены сведения о том, что коэффициент LF/HF не в полной мере отражает баланс между активностью симпатического и парасимпатического отдела ВНС, так как индекс LF характеризуется низкой надежностью в отражении деятельности симпатического отдела ВНС [18, 19]. Подобные исследования определяют необходимость дальнейшего уточнения физиологического значения диапазона LF.

Анализ межгрупповых отличий по амплитудным, временным и скоростным фотоплетизмографическим показателям пульсовых волн позволил выявить значительное количество статистически значимых различий, характеризующих разный уровень сосудистого тонуса артерий периферического сосудистого русла у курсантов исследуемых групп. Так, АСВ в тесте РДО меньше у курсантов второй группы ($1,27 \pm 0,89$) по сравнению с курсантами первой группы ($1,79 \pm 0,97$; $F = 8,8$; $p = 0,001$). Согласно литературным данным АСВ отражает уровень кровенаполнения, функциональное

Таблица 2 / Table 2

Статистические и спектральные характеристики variability сердечного ритма у курсантов
в разных функциональных пробах

Statistical and spectral characteristics of heart rate variability at cadets in different functional tests

Группа	МОЧСС, уд/мин	SD, мс	RMSSD, мс	BP, с	HF, %	LF, %
Фон с закрытыми глазами в начале исследования						
Первая	74,56 ± 10,56	52,06 ± 18,89	42,36 ± 23,70	0,30 ± 0,09	###	###
Вторая	69,18 ± 11,71	64,27 ± 31,11	54,95 ± 35,19	0,36 ± 0,15		
Индекс F/p	$F = 6,8;$ $p = 0,01$	$F = 7,5;$ $p = 0,01$	$F = 5,7;$ $p = 0,02$	$F = 6,4;$ $p = 0,01$		
Фон с открытыми глазами в начале исследования						
Первая	74,40 ± 10,47	52,90 ± 18,88	###	0,30 ± 0,10	###	###
Вторая	69,57 ± 11,27	63,77 ± 32,60		0,36 ± 0,15		
Индекс F/p	$F = 5,7;$ $p = 0,02$	$F = 5,6;$ $p = 0,02$		$F = 5,9;$ $p = 0,02$		
Красно-черные таблицы Шульге – Платонова						
Первая	79,78 ± 9,33	46,47 ± 15,82	34,77 ± 17,53	0,26 ± 0,10	28,80 ± 13,87	###
Вторая	73,75 ± 12,51	66,20 ± 42,97	60,55 ± 53,29	0,33 ± 0,17	34,47 ± 15,45	
Индекс F/p	$F = 9,3;$ $p = 0,001$	$F = 13,7;$ $p = 0,001$	$F = 15,9;$ $p = 0,001$	$F = 7,1;$ $p = 0,01$	$F = 4,4;$ $p = 0,04$	
Часы с поворотом						
Первая	78,26 ± 9,37	54,79 ± 17,86	37,73 ± 19,46	0,36 ± 0,12	19,95 ± 9,66	47,31 ± 10,12
Вторая	72,50 ± 12,43	74,86 ± 39,97	61,52 ± 50,95	0,44 ± 0,17	25,17 ± 11,69	41,64 ± 8,75
Индекс F/p	$F = 8,5;$ $p = 0,001$	$F = 15,0;$ $p = 0,001$	$F = 14,0;$ $p = 0,001$	$F = 10,4;$ $p = 0,001$	$F = 7,1;$ $p = 0,01$	$F = 9,8;$ $p = 0,001$
Реакция на движущийся объект						
Первая	73,72 ± 9,54	49,67 ± 16,66	44,86 ± 23,99	0,30 ± 0,09	###	###
Вторая	68,84 ± 13,20	63,95 ± 37,18	65,61 ± 49,38	0,37 ± 0,17		
Индекс F/p	$F = 5,6;$ $p = 0,02$	$F = 8,8;$ $p = 0,001$	$F = 10,0;$ $p = 0,001$	$F = 9,7;$ $p = 0,001$		
Устный счет при закрытых глазах						
Первая	78,93 ± 9,71	53,10 ± 16,68	36,31 ± 18,21	0,30 ± 0,09	###	###
Вторая	73,23 ± 11,50	74,59 ± 43,34	56,70 ± 45,17	0,39 ± 0,16		
Индекс F/p	$F = 8,6;$ $p = 0,001$	$F = 15,7;$ $p = 0,001$	$F = 12,8;$ $p = 0,001$	$F = 16,5;$ $p = 0,001$		
Фон с открытыми глазами в конце исследования						
Первая	73,62 ± 9,55	60,40 ± 19,63	43,01 ± 22,24	0,35 ± 0,10	###	42,21 ± 13,01
Вторая	67,68 ± 10,29	79,55 ± 36,69	55,77 ± 27,69	0,44 ± 0,15		36,39 ± 10,20
Индекс F/p	$F = 10,4;$ $p = 0,001$	$F = 14,5;$ $p = 0,001$	$F = 7,9;$ $p = 0,01$	$F = 16,1;$ $p = 0,001$		$F = 6,6;$ $p = 0,01$
Фон с закрытыми глазами в конце исследования						
Первая	72,79 ± 9,72	62,14 ± 21,23	44,48 ± 22,15	0,35 ± 0,11	###	40,11 ± 12,47
Вторая	66,52 ± 10,53	73,23 ± 35,02	57,32 ± 29,54	0,41 ± 0,16		35,16 ± 12,65
Индекс F/p	$F = 11,2;$ $p = 0,001$	$F = 4,9;$ $p = 0,03$	$F = 7,5;$ $p = 0,01$	$F = 5,5;$ $p = 0,02$		$F = 4,4;$ $p = 0,04$

Примечание. МОЧСС — математическое ожидание мгновенной частоты сердечных сокращений; SD — стандартное отклонение RR-интервалов; RMSSD — среднеквадратическое различие смежных RR-интервалов; BP — вариационный размах; HF — относительная мощность высокой частоты; LF — относительная мощность. F — значение критерия Фишера; p — уровень значимости.

Межгрупповые отличия показателя скорости медленного кровенаполнения в разных сериях исследования
Intergroup differences of speed of blood filling in series of research

Группа	Часы с поворотом, м/с	Реакция на движущийся объект, м/с	Фон с открытыми глазами в конце исследования, м/с
Первая	14,70 ± 8,13	14,63 ± 8,14	15,37 ± 8,21
Вторая	11,58 ± 7,88	9,57 ± 6,72	11,98 ± 8,02
Индекс F/p	$F = 4,3; p = 0,04$	$F = 12,4; p = 0,001$	$F = 4,9; p = 0,03$

Примечание. F — значение критерия Фишера; p — уровень значимости.

состояние сосудов исследуемого региона и при повышении тонуса сосудов она снижается [20]. Амплитуда инцизуры была выше во второй группе ($1,04 \pm 0,64$), чем в первой ($0,78 \pm 0,55$), в фоновой серии с закрытыми глазами в начале исследования ($F = 5,6; p = 0,02$). Подобные отличия зафиксированы и в фоновой серии с открытыми глазами в начале исследования, при этом во второй группе И составила $1,05 \pm 0,61$, а в первой группе — $0,71 \pm 0,49$ при $F = 11,0$ и $p = 0,001$. Амплитуда инцизуры зависит от ригидности сосудистой стенки, просвета артерий и объема регионарной фракции сердечного выброса. При высокой степени эластичности артерий и низком сосудистом тонусе инцизура глубокая, а ее амплитуда низкая [8]. Таким образом, межгрупповые отличия амплитудных показателей ФПГ позволяют предположить, что у курсантов второй группы тонус сосудов периферического сосудистого русла более выражен. Это подтверждают и временные и скоростные реографические показатели.

Установлено, что у курсантов второй группы ДПВ достоверно больше, чем у курсантов первой группы, во всех сериях исследования. ВМКН больше у курсантов второй группы ($70,96 \pm 10,75$) в сравнении с обследуемыми первой группы ($64,97 \pm 10,14$) в фоновой серии с закрытыми глазами ($F = 9,5; p = 0,001$). В фоновой серии с открытыми глазами ВМКН, так же как и в предыдущей серии, больше во второй группе ($72,23 \pm 10,36$), чем в первой ($65,61 \pm 10,98; F = 10,8; p = 0,001$). ВМКН, по данным литературы, зависит главным образом от тонуса мелких и средних артерий. Увеличение временных показателей ФПГ свидетельствует о сокращении диаметра сосудов и повышении их тонуса [8]. Следовательно, у курсантов второй группы тонус мелких и средних артерий более выражен. Анализ межгрупповых различий скоростных параметров ФПГ подтверждают выводы об изменении сосудистого тонуса периферических артерий по гипертоническому типу у курсантов, имеющих опыт ДВП.

ССМКН оказалась меньше у курсантов второй группы по сравнению с курсантами первой группы в сериях «часы с поворотом», РДО и «фон при открытых глазах в конце исследования» (табл. 3). Это подтверждают выводы других авторов о том, что уменьшение скоростных показателей ФПГ характеризует повышение тонуса мелких артерий [20]. Результаты анализа различий между группами по амплитудным, временным и скоростным показателям подтверждаются и различиями производных индексов от амплитудных показателей.

Было установлено, что ДКИ и ДСИ достоверно выше у курсантов второй группы во всех сериях исследования, что также свидетельствует в пользу выводов о более высоком уровне сосудистого тонуса периферических артерий. ДКИ преимущественно отражает тонус артериол и зависит от состояния сосудистого сопротивления (в норме колеблется от 40–70 %), а ДСИ в большей степени характеризует состояние оттока крови из артерий в вены и тонус вен (в норме не превосходит 75 %) [8]. В нашем исследовании средние значения указанных индексов находятся в пределах возрастных норм.

Любопытно обратиться к анализу показателей, отражающих состояние сосудистой стенки. Так, ПЭС оказался достоверно больше во второй группе в шести сериях из восьми, а показатель МУ в этой же группе, напротив, был ниже, чем в первой группе, в пяти сериях из восьми. Можно предположить, что у курсантов второй группы упруго-эластические свойства артерий периферической сосудистой системы более выражены.

С целью проверки предположения о том, что опыт ДВП проявляется в основном в вышеописанных отличиях, которые в свою очередь определяют разграничение групп, был проведен анализ дискриминантных функций изучаемых показателей. В результате дискриминантного анализа по методу Уилкса выделены важнейшие физиологические, психофизиоло-

Таблица 4 / Table 4

Результаты анализа дискриминантных функций изучаемых показателей
Results of the analysis of discriminant functions of studied indicators

Показатели		Предсказанная принадлежность к группе		Итого
		Группа 1	Группа 2	
Частота	Группа 1	77	4	81
	Группа 2	1	43	44
Процент	Группа 1	95,1	4,9	100
	Группа 2	2,3	97,7	100
Лямбда Уилкса		Хи-квадрат	Уровень значимости	
0,255		156,629	0,0001	
96,0 % исходных сгруппированных наблюдений классифицировано правильно				

гические и электрофизиологические детерминанты ВПА, при этом уровень значимости включенных в анализ параметров не превышал 0,0001. К числу наиболее важных детерминант относятся жизненная емкость легких ($\lambda = 0,518$; $F = 18,29$) и проба Штанге ($\lambda = 0,602$; $F = 19,82$), а также показатели теста «часы с поворотом» — число выполненных заданий ($\lambda = 0,491$; $F = 17,30$), теста РДО — число опережающих реакций ($\lambda = 0,734$; $F = 22,06$), число пропусков заданий ($\lambda = 0,255$; $F = 18,43$), число нормальных реакций ($\lambda = 0,400$; $F = 17,08$), сумма времени опережающих реакций ($\lambda = 0,658$; $F = 20,97$); индексы ВСР — амплитуда моды при фоновой записи с открытыми глазами в конце исследования ($\lambda = 0,301$; $F = 18,24$), VLF при фоновой записи с открытыми глазами в начале исследования ($\lambda = 0,466$; $F = 16,60$), ИН в серии РДО ($\lambda = 0,358$; $F = 18,42$); индексы ЭЭГ — спектральная мощность ритма бета-1 в отведении С4 в серии РДО ($\lambda = 0,270$; $F = 18,25$) и ритма бета-2 в отведении С4 в фоновой серии с закрытыми глазами в начале исследования ($\lambda = 0,0319$; $F = 18,22$); индексы ФПГ — частота пульса в серии «красно-черные таблицы» ($\lambda = 0,339$; $F = 18,20$), ДПВ в фоновой серии с закрытыми глазами в конце исследования ($\lambda = 0,559$; $F = 18,76$) и ДСИ в фоновой серии с открытыми глазами в конце исследования ($\lambda = 0,825$; $F = 26,10$). Кроме того, получено значение статистики Уилкса лямбда (0,255), что указывает на весьма приемлемый уровень дискриминации при априорной группировке всей выборки по показателю «наличие (отсутствие) опыта ДВП». Кроме этого, суммарная точность классификации по ряду психофизиологических показателей в анализе составила 96,0 %, что позволяет с уверенностью говорить о перспективах показанного нами подхода в изучении ВПА в инициальном периоде (табл. 4).

Заключение

Выпускники суворовских училищ по сравнению с курсантами, не имеющими опыта ДВП, характеризуются более высоким уровнем развития устойчивости произвольного внимания и низкой эффективностью функций пространственной ориентации. У них отмечаются более высокий уровень активности сенсомоторной коры правого полушария головного мозга при решении задач, требующих переключения внимания, и менее выраженная активация сенсомоторной коры левого полушария при решении арифметических задач. Для курсантов этой группы также характерны более низкая частота сердечных сокращений, более высокие значения SD и вариационного размаха, относительной мощности в диапазоне HF, что свидетельствует о более выраженной вариабельности сердечного ритма и преобладании активности парасимпатического отдела ВНС. Курсанты этой группы отличались более высоким тонусом периферических сосудов и более выраженными упруго-эластическими свойствами стенок артерий периферического сосудистого русла. В результате анализа дискриминантных функций выделен ряд важнейших психофизиологических детерминант ВПА, которые с высокой точностью (96 %) подтвердили обоснованность выбора показателя наличия (отсутствия) опыта ДВП в качестве группирующей переменной. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы в кросс-валидационных исследованиях, проводимых с целью создания нового методического аппарата психодиагностики в интересах Военно-морского флота, для изучения физиологических механизмов ВПА, и могут быть приняты во внимание при составлении учебных планов и программ, а также учтены в учебном процессе.

Литература

- Петренко М.И., Архимук А.Н., Сырцев А.В., и др. Социально-психологические особенности аттитудов воспитанников НВМУ, КМКВК и курсантов военно-морских институтов ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». — СПб.: ВУНЦ ВМФ ВМА, 2018. — 102 с. [Petrenko MI, Archimuk AN, Syrtsev AV, et al. Sotsial'no-psikhologicheskie osobennosti attitudov vospitannikov NVMU, KMKVK i kursantov voenno-morskikh institutov VUNTs VMF "Voennomorskaya akademiya". Saint Petersburg: VUNTs VMF VMA; 2018. 102 p. (In Russ.)]
- Мухин В.Н., Яковлев Н.М., Клименко В.М. Связь вариабельности сердечного ритма с уровнем активации лобной коры // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2011. — Т. 97. — № 11. — С. 1281–1288. [Mukhin VN, Yakovlev NM, Klimentko VM. Association of heart rate variability and frontal cortex activation. *Russian journal of physiology*. 2011;97(11):1281-1288. (In Russ.)]
- Mather M, Joo Yoo H, Clewett DV, et al. Higher locus coeruleus MRI contrast is associated with lower parasympathetic influence over heart rate variability. *Neuroimage*. 2017;150:329-335. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.02.025>.
- Critchley HD, Corfield DR, Chandler MP, et al. Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: a functional neuroimaging investigation in humans. *J Physiol*. 2000;523 Pt 1:259-270. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00259.x>.
- Павлов К.И., Мухин В.Н., Сырцев А.В., и др. Вариабельность сердечного ритма в изучении когнитивных функций и военно-профессиональной адаптации // Медицинский академический журнал. — 2017. — Т. 17. — № 4. — С. 7–16. [Pavlov KI, Mukhin VN, Syrtsev AV, et al. Heart rate variability method in the study of cognitive functions and military occupational adaptation. *Med Akad Z*. 2017;17(4):7-16. (In Russ.)]
- Хохлова Л.А., Каменская В.Г. Особенности фоновой ЭЭГ у девушек с разной степенью ювенильности // Психология образования в поликультурном пространстве. — 2016. — № 35. — С. 33–42. [Khokhlova LA, Kamenskaya VG. Peculiarities of the background EEG of girls with different juvenility levels. *Psikhologiya obrazovaniya v polikul'turnom prostranstve*. 2016;(35):33-42. (In Russ.)]
- Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). — М.: МЕДпресс-информ, 2004. — 624 с. [Gnezditsky VV. Obratnaya zadacha EEG i klinicheskaya elektroentsefalografiya (kartirovanie i lokalizatsiya istochnikov elektricheskoy aktivnosti mozga). Moscow: MEDpress-inform; 2004. 624 p. (In Russ.)]
- Зенков Л.П., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. — 5-е изд. — М.: МЕДпресс-информ, 2013. — 488 с. [Zenkov LR, Ronkin MA. Funktsional'naya diagnostika nervnykh boleznej: rukovodstvo dlya vrachej. 5th ed. Moscow: MEDpress-inform; 2013. 488 p. (In Russ.)]
- Цыган В.Н., Богословский М.М., Миролубов А.В. Электроэнцефалография. — СПб.: Наука, 2008. — 192 с. [Cigan VN, Bogoslovsky MM, Mirolyubov AV. Elektroentsefalografiya. Saint Petersburg: Nauka; 2008. 192 p. (In Russ.)]
- Stenfors CU, Hanson LM, Theorell T, Osika WS. Executive cognitive functioning and cardiovascular autonomic regulation in a population-based sample of working adults. *Front Psychol*. 2016;7:1536. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01536>.
- Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. — 2001. — № 24. — С. 65–87. [Bayevsky RM, Ivanov GG, Chireikin LV. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh system. *Journal of arrhythmology*. 2001;(24):65-87. (In Russ.)]
- Delgado-Moreno R, Robles-Pérez JJ. Combat stress decreases memory of warfighters in action. *J Med Syst*. 2017;41(8):124. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0772-x>.
- Флейшман А.Н., Мартынов И.Д., Петровский С.А., Кораблина Т.В. Ортостатическая тахикардия: диагностическое и прогностическое значение very low frequency вариабельности ритма сердца // Бюллетень сибирской медицины. — 2014. — Т. 13. — № 4. — С. 136–148. [Fleishman AN, Martynov ID, Petrovsky SA, Korablina TV. Orthostatic tachycardia: diagnostic and prognostic value of very low frequency of heart rate variability. *Bulletin of Siberian medicine*. 2014;13(4):136-148. (In Russ.)]
- Su S, Lampert R, Lee F, et al. Common genes contribute to depressive symptoms and heart rate variability: the twins heart study. *Twin Res Hum Genet*. 2010;13(1):1-9. <https://doi.org/10.1375/twin.13.1.1>.
- Tripathi KK. Very low frequency oscillations in the power spectra of heart rate variability during dry supine immersion and exposure to non-hypoxic hypobaria. *Physiol Meas*. 2011;32(6):717-729. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/32/6/008>.
- Koko KR, McCauley BD, Gaughan JP, et al. Spectral analysis of heart rate variability predicts mortality and instability from vascular injury. *J Surg Res*. 2018;224:64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.029>.
- Bernardi L, Valle F, Coco M, et al. Physical activity influences heart rate variability and very-low-frequency components in Holter electrocardiograms. *Cardiovasc Res*. 1996;32(2):234-237. [https://doi.org/10.1016/0008-6363\(96\)00081-8](https://doi.org/10.1016/0008-6363(96)00081-8).
- Billman GA. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Cardiovasc Res*. 1996;32(2):234-237. [https://doi.org/10.1016/0008-6363\(96\)00081-8](https://doi.org/10.1016/0008-6363(96)00081-8).
- Houle MS, Billman GA. Low-frequency component of the heart rate variability spectrum: a poor marker of sympathetic activity. *Am J Physiol*. 1999;276(1):H215-23. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1999.276.1.H215>.
- Полищук В.И., Терехова Л.Г. Техника и методика реографии и реоплетизмографии. — М.: Медицина, 1983. — 176 с. [Polishchuk VI, Terekhova LG. Tekhnika i metodika reografii i reopletizmografii. Moscow: Medicine; 1983. 176 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах / Information about the authors

Константин Иванович Павлов — канд. психол. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. E-mail: youngexp@yandex.ru.

Максим Иванович Петренко — начальник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Алексей Витальевич Сырцев — канд. психол. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Алексей Николаевич Архимук — канд. пед. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Екатерина Александровна Михеева — старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Сардана Валерьевна Николаева — научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Нелли Муратовна Андиева — младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (профессионального психологического обеспечения), Военный учебно-научный центр Военно-морского флота Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург.

Валерий Николаевич Мухин — канд. мед. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины», Физиологический отдел им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург.

Владимир Николаевич Сысоев — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой военной психофизиологии ФГБ ВОУ ВПО «Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург.

Konstantin I. Pavlov — PhD, Senior Scientific Researcher, Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia. E-mail: youngexp@yandex.ru.

Maxim I. Petrenko — Lieutenant Colonel of Medical Service, the Head of Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Aleksy V. Syrtsev — PhD, Senior Scientific Researcher, Department of Occupational Physiology Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Aleksy N. Archimuk — PhD, Senior Scientific Researcher, Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Ekaterina A. Mikheeva — Senior lieutenant of Medical Service, Senior Scientific Researcher, Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Sardana V. Nikolaeva — Scientific Researcher, Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Nelli M. Andieva — Junior Scientific Researcher, Department of Occupational Psychological Support, N.G. Kuznetsov Naval Academy, Saint Petersburg, Russia.

Valery N. Mukhin — MD, PhD, Senior Scientific Researcher, I.P. Pavlov Department of Physiology, Institute of Experimental Medicine, Russian Federation, Saint Petersburg, Russia.

Vladimir N. Sysoev — MD, Professor, the Head of Department of Military Psychophysiology, S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.

✉ Контактное лицо / Corresponding author

Константин Иванович Павлов / Konstantin I. Pavlov
E-mail: youngexp@yandex.ru