

М.И. Петренко¹, К.И. Павлов¹, А.В. Сырцев¹,
А.Н. Архимук¹, В.Н. Мухин², В.Н. Сысоев³

Особенности когнитивных функций и характеристики их физиологических проявлений у курсантов с довузовской военной подготовкой

¹Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия», Санкт-Петербург

²Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург

³Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Изучение физиологических механизмов когнитивных функций и эффективности познавательной деятельности является важнейшей задачей в психофизиологии военного труда. Определены особенности когнитивных функций, вариабельности сердечного ритма и биоэлектрической активности сенсомоторной коры головного мозга у курсантов в зависимости от опыта довузовской военной подготовки. Установлено, что курсанты – выпускники суворовских училищ – по сравнению с курсантами, не имеющими довузовской военной подготовки и не проходившими службу по призыву, отличаются более высокими показателями уровня развития устойчивости произвольного внимания, а также относительно низкими значениями показателей эффективности функций пространственной ориентации. Так, выпускники суворовских училищ при выполнении методики «Красно-черные таблицы Шульте – Платонова» допускали меньшее количество ошибок ($0,16 \pm 0,57$), чем курсанты, не имеющие довузовской военной подготовки ($0,54 \pm 1,08$) ($F=4,7$; $p=0,03$). При выполнении методики «Реакция на движущийся объект» суворовцы демонстрировали 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 соответствующими параметрами курсантов, не имеющих довузовской военной подготовки, у которых число опережающих реакций составило $38,04 \pm 18,95$ ($F=5,8$; $p=0,02$), а число запаздывающих реакций – $100,48 \pm 20,37$ ($F=15,1$; $p=0,001$). При выполнении методики «Часы с поворотом» у суворовцев количество правильных заданий было меньше ($26,18 \pm 6,71$) в сравнении с курсантами, не имевшими довузовской военной подготовки ($29,10 \pm 7,89$; $F=4,3$; $p=0,04$). Однако максимальное время выполнения одного задания в группе суворовцев достоверно больше ($38,07 \pm 10,66$ с), чем у курсантов, не имевших довузовской военной подготовки ($34,07 \pm 10,57$ с; $F=4,0$; $p=0,05$). Кроме того, у суворовцев регистрируется более низкая частота сердечных сокращений, а значения стандартного отклонения R–R-интервалов и вариационного размаха, относительной мощности в диапазоне высоких частот достоверно выше. Для суворовцев также характерна более выраженная активность сенсомоторной коры правого полушария головного мозга при решении задач, требующих задействования функций переключения внимания. Вместе с тем при решении арифметических задач активация сенсомоторной коры левого полушария у них снижена.

Ключевые слова: когнитивные функции, биоэлектрическая активность сенсомоторной коры, вариабельность сердечного ритма, электрокардиография, электроэнцефалография, курсанты, довузовская военная подготовка, военно-профессиональная адаптация.

Введение. Изучение физиологических механизмов когнитивных функций и эффективности познавательной деятельности является важнейшей задачей в психофизиологии военного труда. Анализ литературных источников показал, что исследований, посвященных комплексному изучению взаимосвязей между когнитивными функциями, их центральными электрофизиологическими проявлениями и автономными регуляторными механизмами сердечной деятельности, играющими ключевую роль в физиологической адаптации, представлено недостаточно [4]. Нам не удалось найти работ, посвященных изучению влияния опыта довузовской военной подготовки (ДВП) на физиологические механизмы когнитивных функций и военно-профессиональной адаптации (ВПА). Полагаем, что высокий уровень развития когнитивных функций и опыт ДВП являются

основой эффективной приспособляемости курсантов к условиям образовательной среды военного вуза, что в итоге и определяет уровень их ВПА. Наиболее информативным подходом к изучению когнитивных функций и определению их роли в ВПА является комплексное использование психофизиологических и электрофизиологических методик – электроэнцефалографии и вариабельности сердечного ритма (ВСР). В пользу этого подхода свидетельствуют работы авторов, исследовавших связи показателей ВСР, активности лобных долей головного мозга с функцией восприятия, психомоторными реакциями и познавательной активностью [2, 4].

Цель исследования. Определить особенности когнитивных функций, вариабельности сердечного ритма и биоэлектрической активности

сенсомоторной коры головного мозга у курсантов в зависимости от опыта довузовской военной подготовки.

Материалы и методы. Обследованы 125 курсантов первого курса Военного института (военно-морского) Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», средний возраст обследуемых – $19,04 \pm 0,53$ года. Выборка была разделена на две группы: к 1-й группе отнесены курсанты без ДВП ($n=81$), ко 2-й – выпускники суворовских (нахимовских) училищ ($n=44$). Критериями включения в исследование являлись 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 8-цветового теста М. Люшера. Электрофизиологическое исследование проводилось индивидуально с каждым испытуемым в одно и то же время суток (с 15 до 16 ч) однократно. Исследование электрофизиологических проявлений селективного внимания, рабочей памяти, пространственной ориентации и мышления обследуемых проводилось в положении сидя.

Проведено восемь серий функциональных проб (ФП) с одновременной регистрацией электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и электрокардиограммы (ЭКГ): 1) в состоянии покоя с закрытыми глазами; 2) в состоянии покоя с открытыми глазами; 3) в период выполнения методики «Красно-черные таблицы Шульте – Платонова» (7–7 ячеек); 4) во время выполнения методики «Часы с поворотом»; 5) в момент выполнения методики «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 (КФП); 8) в состоянии покоя с закрытыми глазами после КФП. Время регистрации электрофизиологических параметров в каждой серии – 5 мин. Для предъявления обследуемым задач, регистрации у них сердечного ритма и ЭЭГ использовался аппаратно-программный комплекс (АПК) объективного психологического анализа и тестирования «Реакор» фирмы «Медиком МТД» (г. Таганрог) с частотой дискретизации 250 Гц. Парные электроды для записи ЭКГ располагались на запястье левой руки и нижней трети шеи слева и спереди от грудинно-ключично-сосцевидной мышцы. Регистрировались статистические и спектральные характеристики ВСР: математическое ожидание мгновенной частоты сердечных сокращений – МОЧСС (уд/мин) ($МОЧСС = 60000/RRNN$, где RRNN – продолжительность последовательных R–R-интервалов); стандартное отклонение R–R-интервалов – SD (мс); среднеквадратическое различие смежных R–R-интервалов – RMSSD (мс);

вариационный размах – ВР (с); индекс напряжения – ИН по Р.М. Баевскому (у. е.); общая спектральная мощность модуляций сердечного ритма – ТР (мс²); относительная мощность в диапазонах высокой частоты (0,4–0,15 Гц) – HF (%), низкой частоты (0,15–0,04 Гц) – LF (%), очень низкой частоты (0,04–0,0033 Гц) – VLF (%). ЭЭГ регистрировалась в левом и правом центральных отведениях, расположенных по стандартной системе 10–20 в симметричных точках правого и левого полушария. Референтные электроды располагались за ушами в области сосцевидных отростков. Величина импеданса не превышала 10 кОм. Определялись относительные значения мощностей (ОЗМ) по основным зонам спектра ЭЭГ: дельта-1 (0,5–2 Гц), дельта-2 (2–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета-1 (13–24 Гц), бета-2 (24–35 Гц.) в каждом из отведений (%).

С помощью визуального анализа результатов в программной среде АПК «Реакор» были выявлены и вручную удалены выраженные глазодвигательные и мышечные артефакты, единичные спайки и острые волны. Для подавления оставшихся электрокардиографических, миографических и окулографических артефактов использовались такие функции программного обеспечения, как сглаживание и интерполяция выбросов и ошибочных данных. В ходе математико-статистического анализа использовался расчет среднего значения и среднеквадратического отклонения. Определенные статистической достоверности межгрупповых отличий между изучаемыми параметрами проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

Результаты и их обсуждение. Установлена значимая статистическая зависимость между уровнем развития когнитивных функций и характером их электрофизиологических проявлений, а также опытом ДВП. Так, выпускники суворовских училищ при выполнении методики «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 ($0,54 \pm 1,08$) ($F=4,7$; $p=0,03$). При выполнении методики РДО суворовцы демонстрировали 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 соответствующими параметрами первой группы обследуемых, у которых число опережающих реакций составило $38,04 \pm 18,95$ ($F=5,8$; $p=0,02$), а число запаздывающих реакций $100,48 \pm 20,37$ ($F=15,1$; $p=0,001$). Результаты, полученные по методикам «Красно-черные таблицы Шульте – Платонова» и РДО, указывают на более высокий уровень развития устойчивости произвольного внимания, а также на более выраженное смещение баланса нервных процессов в сторону возбуждения у выпускников суво-

ровских училищ. При этом они выполнили меньшее количество заданий в методике «Часы с поворотом» ($26,18 \pm 6,71$) в сравнении с обследуемыми первой группы ($29,10 \pm 7,89$; $F=4,3$; $p=0,04$). Однако максимальное время выполнения одного задания в группе суворовцев достоверно больше ($38,07 \pm 10,66$ с), чем у курсантов первой группы ($34,07 \pm 10,57$ с; $F=4,0$; $p=0,05$). Полученные данные позволяют выдвинуть предположение о том, что в группе выпускников суворовских училищ достоверно более высокая устойчивость произвольного внимания сочетается с ригидностью познавательной активности данной модальности, что обуславливает снижение эффек-

тивности функций пространственной ориентации и индивидуально низкий темп деятельности в решении задач на внимание.

Показано, что наличие в опыте ДВП статистически значимо связано с электрофизиологическими параметрами ВСП. Так, курсанты, имеющие опыт ДВП, демонстрировали более низкий показатель МОЧСС, а также более высокие значения SD и BP во всех сериях, чем курсанты первой группы (табл.).

Значимы и межгрупповые отличия по RMSSD, среднее значение которого достоверно различается во всех сериях, кроме ФП в состоянии покоя с открытыми глазами в начале исследования. R.

Таблица

Статистические и спектральные характеристики ВСП у курсантов обследуемых групп при выполнении функциональных проб

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

Примечание: F – критерий Фишера; p – уровень значимости.

Delgado-Moreno et al. [7] указывают на то, что увеличение временных характеристик ВСР – SDNN и RMSSD с одновременным уменьшением интервала Q–T положительно коррелирует с эффективностью выполнения когнитивных методик, а также со скоростью психомоторных реакций. Кроме того, в группе суворовцев ИН был ниже как во время выполнения методики «Часы с поворотом» ($63,28 \pm 67,13$ у.е.; $F=5,2$; $p=0,03$), так и в серии устного счета при закрытых глазах ($70,69 \pm 58,73$ у.е.; $F=7,7$; $p=0,01$), тогда как у курсантов первой группы ИН в серии «Часы с поворотом» имеет значение $90,61 \pm 62,61$ у.е., а ИН в серии устного счета при закрытых глазах – $102,35 \pm 61,78$ у.е. Суворовцы отличаются также большими значениями TP во всех сериях исследования и повышенными значениями относительной мощности в диапазоне HF при выполнении методик «Красно-черные таблицы Шульте – Платонова» и «Часы с поворотом». У них также отмечаются более низкие значения относительной мощности в диапазоне LF в сериях «Часы с поворотом» и обеих ФП в состоянии покоя в конце исследования. По данным К.И. Павлова и др. [5] и L. Bernardi et al. [6], одновременное увеличение значений HF и снижение значений LF отражает преобладание парасимпатического влияния вегетативной нервной системы (ВНС) на сердечный ритм. В пользу преобладания парасимпатического отдела ВНС свидетельствуют и межгрупповые достоверные отличия по VLF, значение которого выше во второй группе при выполнении ФП с открытыми глазами в конце исследования ($41,3 \pm 13,78\%$) в сравнении со значениями этого показателя в первой группе ($34,29 \pm 13,60\%$; $F=7,5$; $p=0,01$).

Показано, что наличие в опыте ДВП также связано с электроэнцефалографическими показателями. Так, в правом центральном отведении при фоновой записи ЭЭГ мощность ритма дельта-1 была меньше у курсантов второй группы ($2,51 \pm 1,01$ Гц) в сравнении с курсантами первой группы ($3,52 \pm 3,29$; $F=4,0$ Гц; $p=0,05$). Согласно классическим представлениям, дельта-ритм ЭЭГ взрослого здорового человека отражает снижение коркового тонуса и активацию процессов торможения [3]. В группе суворовцев в этом же отведении при выполнении методики «Красно-черные таблицы Шульте – Платонова» мощность альфа-ритма была ниже ($7,96 \pm 2,77$ Гц), чем у курсантов без опыта ДВП ($9,50 \pm 4,56$ Гц; $F=4,1$; $p=0,04$). Это согласуется с данными Д.В. Бердникова, В.Я. Апчела, И.И. Бобынцева [2], свидетельствующими о том, что угнетение альфа-активности происходит при научении, ориентировочной реакции, умственной деятельности или возбуждении нервной системы. Правомерно предположение о том, что для курсантов второй группы в процессе предъявления задач на внимание характерна более выраженная активация сенсомоторной зоны коры правого полушария.

В левом центральном отведении в серии «Устный счет при закрытых глазах» мощность ритма бета-1 достоверно меньше у курсантов второй группы ($2,64 \pm 0,92$ Гц) в сравнении с обследуемыми первой группы ($3,25 \pm 1,71$ Гц; $F=4,8$; $p=0,03$). Это, согласно данным В.В. Гнездицкого [3], может отражать процессы синхронизации ЭЭГ и снижения активности сенсомоторной коры левого полушария у курсантов с опытом ВПД. Заметим, что у выпускников суворовских училищ имеется большой разброс значений электрофизиологических показателей, что объясняется более высоким уровнем приспособленности курсантов с опытом ВПД к физическим нагрузкам. Подтверждением данного положения служит смещение спектральных характеристик ВСР в сторону высоких частот, характерное для лиц, системно занимающихся спортом.

Заключение. Полагаем, что выпускники суворовских училищ по сравнению с курсантами, не имеющими опыта ДВП, обладают более высоким уровнем развития устойчивости произвольного внимания и отличаются низкой эффективностью функций пространственной ориентации. У суворовцев отмечается 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. Кроме того, для них характерна более выраженная ВСР с преобладанием высокочастотных модуляций, связанных с активностью парасимпатического отдела ВНС. Данные проведенного исследования дополняют известные механизмы военно-профессиональной адаптации первокурсников к обучению в военных морских институтах.

Литература

1. Баевский, Р.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р.М. Баевский // Вестн. аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–87.
2. Бердников, Д.В. Психофизиологические основы организации регуляции целенаправленной деятельности (обзор литературы) / Д.В. Бердников, В.Я. Апчел, И.И. Бобынцев // Экология человека. – 2016. – № 10. – С. 37–46.
3. Гнездицкий, В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография / В.В. Гнездицкий. – М.: Медпресс-информ, 2004. – 624 с.
4. Зенков, Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. – М.: Медпресс-информ, 2013. – 488 с.
5. Павлов, К.И. Variability сердечного ритма в изучении когнитивных функций и военно-профессиональной адаптации / К.И. Павлов [и др.] // Мед. акад. журн. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 7–16.
6. Bernardi, L. Physical activity influences heart rate variability and very-low-frequency components in Holter electrocardiograms / L. Bernardi [et al.] // Cardiovasc Res. – 1996. – Vol. 32, № 2. – P. 234–237.

7. Delgado-Moreno, R. Combat Stress Decreases Memory of Warfighters in Action / R. Delgado-Moreno, J.J. Robles-Pérez, V.J. Clemente-Suárez // J. Med. Syst. – 2017. – Vol. 41, № 8. – P. 124.
8. Stenfors, C.U., Executive Cognitive Functioning and Cardiovascular Autonomic Regulation in a Population-Based Sample of Working Adults / C.U. Stenfors [et al.] // Front Psychol. – 2016. – Vol. 7. – P. 1536.

M.I. Petrenko, K.I. Pavlov, A.V. Syrtsev, A.N. Archimuk, V.N. Mukhin, V.N. Sysoev

Physiological characteristics of cognitive functions of cadets with military-training experience

Abstract. Investigation of physiological mechanisms of cognitive functions and efficiency of cognitive activity is the major problem of military service psychophysiology. We have studied the effect of military-training experience on cognitive functions, heart rate variability and bioelectrical activity of sensorimotor cortex of cadets. Cadets with military-training experience from Suворov Military (quantity of errors in Shulte's test ($0,16 \pm 0,57$) in comparison with the cadets without military-training experience ($0,54 \pm 1,08$) ($F=4,7$; $p=0,03$). Cadets from Suворov Military School had a higher quantity of false start ($46,36 \pm 17,68$) and lower quantity of retardation ($86,39 \pm 17,44$) on visual stimulus of test «Reaction on moving object». Cadets without military-training experience had quantity of false start – $38,04 \pm 18,95$ ($F=5,8$; $p=0,02$) and quantity of retardation – $100,48 \pm 20,37$ ($F=15,1$; $p=0,001$). Cadets with military-training experience solved a lower quantity of tasks in the test «Hours with rotation» ($26,18 \pm 6,71$) in comparison with the cadets without military-training experience ($29,10 \pm 7,89$; $F=4,3$; $p=0,04$). The maximum time of solving one task at cadets with military-training experience is more ($38,07 \pm 10,66$ sec) than at cadets without military-training experience ($34,07 \pm 10,57$ sec; $F=4,0$; $p=0,05$). Cadets with military-training experience had lower heart rate, the higher standard deviation of R–R-intervals and variation range, high level of relative power in the high-frequency spectral bound. They had high activity of sensorimotor cortex of right cerebral hemisphere in the tests with the switching of attention and had low activity of sensorimotor cortex of left cerebral hemisphere in the test with arithmetic tasks.

Key words: cognitive functions, bioelectrical activity of sensorimotor cortex, heart rate variability, electrocardiography, electroencephalography, cadets, the effect of military-training experience, military-occupational adaptation.

Контактный телефон: +7-960-262-26-73; e-mail: youngexp@yandex.ru