

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ДИНАМИКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

Королева С.В., Мкртычян А.С., Петров Д.Л., Ковязин Н.Ю.

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия (153040, Иваново, проспект Строителей, 33), e-mail: drqueen@mail.ru

Проведен анализ особенностей структуры variability сердечного ритма в спектре очень медленных колебаний (VLF) во взаимосвязи с экстремальными условиями профессиональной деятельности. Исследование проведено с участием группы курсантов академии после участия в ликвидации чрезвычайной ситуации, связанной с тушением лесо-торфяных пожаров, а также в динамике тренировок на полигоне загородного учебного центра академии с моделированием опасных факторов пожара (теплодымокамера) и в условиях повседневной деятельности. Учитывались характеристики variability сердечного ритма с доказанной взаимосвязью с процессами профессиональной дезадаптации (авторский патент). Для проверки научной гипотезы изучались характеристики VLF во взаимосвязи со стресс-индексом, частотой сердечных сокращений и маркерами профессиональной дезадаптации в динамике стрессогенного воздействия. Установлено, что реакции на стресс у большинства курсантов носят характер гипердаптивной реакции. Реакция постнагрузочного энергодефицита выявлена как после участия в тушении пожара, так и в динамике прохождения теплодымокамеры с большей интенсивностью и развитием «стрессогенного следа» в группе курсантов после тушения пожаров. Показано значение показателя VLF % в оценке реакций центральных механизмов регуляции на стрессогенные условия профессиональной деятельности у лиц опасных профессий.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, структура колебаний, очень медленные колебания, экстремальные условия, моделируемые условия пожара.

STRUCTURAL FEATURES OF THE INDIVIDUAL COMPONENTS OF HEART RATE VARIABILITY IN THE COURSE OF IMPACT OF FIRE HAZARDS

Koroleva S.V., Mkrtychyan A.S., Petrov D.L., Kovyazyn N.Y.

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters» – IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Ivanovo, Russia (153040, Ivanovo, Stroiteleyprosp. 33), e-mail: drqueen@mail.ru

The analysis of the structural features of heart rate variability in the spectrum of very low frequency (VLF) in conjunction with extreme conditions of professional activity has been conducted. The research was done with a group of academy cadets after participating in emergency response related to extinguishing forest and peat fires, as well as in the course of training on the ground of suburban academy training center with fire hazards simulation (smoke and heat training facility) and in daily activities. The characteristics of heart rate variability with a proven interrelation with the processes of professional disadaptation (author's patent) were taken into consideration. To test scientific hypothesis, the characteristics of VLF were studied in conjunction with stress index, heart rate and markers of professional disadaptation in the course of stressful impact. It was found that majority of the cadets had a stress response of hyperadaptive nature. The reaction of postloading energy deficiency is revealed both after participating in extinguishing the fire, and in the course of undergoing the smoke and heat training facility with a greater intensity and development of «stressful trace» in the group of cadets after extinguishing fires. The indicator value of VLF % is shown in the evaluation of the reactions of central regulating mechanisms to stressful conditions of professional activity of people engaged in dangerous occupations.

Keywords: heart rate variability, the structure of frequency, very low frequency, extreme conditions, simulated fire conditions.

Математический анализ variability сердечного ритма (BCP) для мониторинга состояния пожарных и спасателей применяется относительно недавно, несмотря на очевидную актуальность его внедрения [1,2,6,7]. Значимым «толчком» в его развитии послужили результаты использования в космической и спортивной медицине [5,7]. В основе актуальности и востребованности метода – возможности технологии в донологической диагностике состояний профессиональной дезадаптации и на их основе – превентивном повышении эффективности реабилитационных мероприятий [1]. Несмотря на неспецифический характер стресс-индуцированных реакций у специалистов экстремального профиля по компонентам BCP, установлена зависимость от степени профессиональной нагрузки и ее психологической значимости [2,5]. Особый интерес вызывает диапазон очень медленных колебаний (VLF): установлены его зависимости от терморегуляции, концентрации ангиотензина и ренина, метаболических и окислительно-восстановительных процессов [3,9,10]. Относительно недавние исследования А.Н. Флейшмана с соавт. [8] позволили расширить значимость и возможное практическое применение анализа данного компонента BCP. Очевидно, что для специалистов экстремального профиля исследования по выявлению маркеров преморбидных состояний трудно переоценить.

Цель исследования – выявить особенности структуры отдельных компонентов variability сердечного ритма в динамике воздействия опасных факторов пожара в реальных и моделируемых условиях опасных факторов профессиональной среды при обучении специалистов экстремального профиля.

Материал и методы исследования. Проведено исследование двух групп курсантов академии в динамике воздействия опасных факторов пожара:

1. После, в динамике восстановления и в условиях повседневной деятельности 14 курсантов, средний возраст $20,2 \pm 0,2$ лет, участвовавших в ликвидации ЧС, связанной с тушением лесо-торфяных пожаров.

2. До, после, в динамике восстановления и в условиях повседневной деятельности 16 курсантов, средний возраст $20,1 \pm 0,1$ лет, выполнявших задание по дисциплине пожарно-строевой и газодымозащитной службы в условиях моделирующих экстремальные на пожаре.

Следует подчеркнуть, что период восстановления исключал занятия с имитацией опасных факторов профессиональной среды. В то же время условия повседневной деятельности подразумевают участие курсантов на дежурствах в пожарной части (с выездами на реальные пожары), занятия по пожарно-строевой и газодымозащитной службе, суточные наряды и физические нагрузки, превышающие обычные.

Использовалось стандартное сертифицированное аппаратно-программное оборудование: «ВНС-Микро» ООО «Нейрософт» (г. Иваново) с расчетом стандартных

показателей ВСР. Дополнительно рассчитывался индекс централизации (стресс-индекс) [1]. Для моделирования и дозирования опасных факторов пожара использован мобильный полигон «ГРОТ» (теплодымокамера – ТДК). Моделирующий комплекс состоит из дымокамеры (тренажёр ориентации), теплокамеры (тренажёрный отсек) и отсека руководителя тренировок (пультовой отсек), совмещенного с постом медицинского контроля. Дополнительная психологическая нагрузка создается использованием системы звуковых и световых эффектов – имитируются шумы обрушения конструкций, взрыв паров или газов, шум выходящего из трубопровода под давлением газа, крики «пострадавшего» и т.д. Теплокамера позволяет проводить тренировки на тренажерах при повышенных температурах.

Для оценки состояния профессиональной адаптации использовался авторский «Способ оценки профессиональной адаптации курсантов образовательных учреждений МЧС России» [2]. Статистическая обработка результатов проведена на платформе StatPlus2009, нормальность распределения устанавливалась с помощью критерия Колмогорова – Смирнова/Лиллифорса и Шапиро – Уилка. Достоверность различий учитывалась при уровне значимости 0,05. Результаты в последовательных измерениях в одной группе анализировались с использованием парного критерия Стьюдента. Сравнение значений в независимых группах проведено с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни и двухвыборочного теста Колмогорова – Смирнова. Результаты представлены по 2 квартилю (± 1 и 3 квартиль). Исследование проведено с соблюдением этических и правовых норм для декретированной группы пациентов. Работа выполнена в соответствии с Планом научно-исследовательской деятельности академии.

Результаты исследования и их обсуждение. Как и большинство исследователей [1], отмечаем значительный разброс значений показателей «периферического» вегетативного обеспечения деятельности сердца (LF, HF). Реакция на АОП вне воздействия профессиональных нагрузок не выходит за границы норм. Сравнение по годам обучения позволило выделить наиболее «критический» период – 3 курс, с максимальными профессионально значимыми нагрузками. Сравнением с данными, полученными при обследовании молодых мужчин в силовых структурах и абитуриентов, выявлено, что у курсантов академии достоверно выше показатели, отражающие периферический отдел вегетативного обеспечения с выраженной парасимпатикотонией [2,3,6].

Участие курсантов академии в ликвидации лесо-торфяных пожаров позволило исследовать механизмы адаптации при реальном боевом применении. Значимые различия в показателе индекса напряжения регуляторных систем (стресс-индекса) установлены при выполнении функциональной пробы низкой интенсивности (АОП). Реальные условия

боевого применения выявили более значимое увеличение индекса напряжения (стресс-индекса) (табл.1).

Таблица 1

Показатели стресс-индекса курсантов после участия в ликвидации ЧС, в периоде восстановления и в режиме повседневной деятельности и курсантов в динамике условий моделирующих опасные факторы пожара (ТДК) (показатели 2 квартиля)

Условия сопоставления	ТДК		пожар	
	фон	АОП	фон	АОП
До	48,1	72,1		
После	164,0	195,0	120,5	305,5***
Период восстановления (2 недели)	62,7	102,0	56,9	147,0**
Режим повседневной деятельности (через 0,5 года)	53,95	88,25	52,6	148,0**

Достоверность различий между группами : ** $\leq 0,05$ – достоверно, *** $\leq 0,001$ – высоко достоверно.

Установленные особенности реагирования на стресс периферических показателей ВСР отражают процесс профессиональной адаптации, при этом гомеостатические «требования» организма тонко реагируют на увеличение нагрузки в условиях повседневной деятельности, достоверно отличаясь от аналогичных показателей в период восстановления. Показатели ВСР в динамике наблюдения в группе «ликвидаторов» лесо-торфяных пожаров представлены в табл.2.

Таблица 2

Показатели ВСР курсантов после участия в ликвидации ЧС, в периоде восстановления и в повседневной деятельности (2 (1; 3 квартили))

Показатели ВСР	TP		%HF		LF/HF		30/15
	фон	АОП	фон	АОП	фон	АОП	
После ЧС (1)	2095,0 (1328,5; 2962,0)	1485,5 (2311,8; 1251,3)	35,6 (23,2; 51,9)	8,5 (5,1; 13,6)	0,7 (0,5; 8,0)	4,4 (3,1; 8,0)	1,2 (1,1; 1,3)
Восстановление (2)	3811,0 (3232,5; 5495,5)	2520,0 (1614,0; 5752,0)** ₁	43,6 (36,4; 49,9)	16,5 (8,0; 19,1)	0,5 (0,4; 0,7)	2,3 (2,0; 3,5)	1,6 (1,4; 1,6)*** ₁

Повседневная деятельность (3)	3095,0 (2257,0; 7475,0)	3354,0 (1570,0; 4525,0)* ₁	42,1 (23,6; 52,1)	10,0 (5,1; 16,9)	0,7 (0,5; 1,0)	4,2 (1,7; 10,8)	1,5 (1,3; 1,6)** ₁
----------------------------------	-------------------------------	---	-------------------------	------------------------	----------------------	-----------------------	----------------------------------

Достоверность различий: * $\leq 0,1$ – устойчивая тенденция, ** $\leq 0,05$ – достоверно, *** $\leq 0,001$ – высоко достоверно.

При сравнении с результатами ВСП, полученными в динамике прохождения курсантами ТДК на полигоне, установлены однонаправленные и однотипные реакции, при этом сравнительный анализ изменений отдельных параметров ВСП между независимыми группами не установил достоверных различий. Таким образом, можно резюмировать, что моделируемые на полигоне условия пожара при воздействии на механизмы второго и третьего контуров вегетативного обеспечения деятельности сердца сопоставимы с воздействием реальных условий пожара.

Центральные механизмы вегетативного обеспечения деятельности сердца по показателю VLF (абсолютному и относительному) также продемонстрировали достоверные изменения (табл.3). Результаты представлены параллельно с показателями ЧСС, так как в полевых условиях динамика пульса может быть оценена самостоятельно пожарным:

Таблица 3

Динамика изменений спектра VLF (абс. и отн.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в исследовании (2 (1; 3 квантили))

Показатель ВСП	VLF, абс, мс ² /Гц		VLF, %		ЧСС, уд.в мин	
	фон	АОП	фон	АОП	фон	АОП
После ЧС (1)	718,5 (453,5; 951,3)	841,5 (614,8; 1137,3)	28,9 (18,3; 40,9)	51,4 (35,4; 59,2)	80,5 (73,3; 82,0)	99,0 (95,0; 114,8)
Восстановление (2)	1477,0 (960,0; 1942,0)** ₁	1084,0 (569,5; 3615,5)* ₁	31,5 (22,1; 43,3)	49,9 (33,3; 60,9)	73,0 (64,5; 78,0)* ₁	90,0 (80,0; 93,5)** ₁
Повседневная деятельность (3)	760,0 (514,0; 2007,0)* ₁	1684,0 (442,0; 2325,0)	25,3 (21,6; 32,6)	49,6 (40,5; 60,4)	68,0 (66,0; 79,0)* ₁	96,0 (79,0; 105,0)* ₁

Достоверность различий: * $\leq 0,1$ – устойчивая тенденция, ** $\leq 0,05$ – достоверно, *** $\leq 0,001$ – высоко достоверно.

Наглядно продемонстрировано, что относительные показатели очень медленных колебаний не достоверно изменяются в динамике нагрузки, что подтверждает гипотезу о значении преимущественно периферического отдела вегетативной нервной системы в обеспечении

межсистемного и внутрисистемного гомеостаза при значимых нагрузках. В то же время отмечается централизация модулирующего влияния при выполнении АОП во всех 3 измерениях (VLF более 35 %) по гиперадаптивному типу [1, 8].

Исходная гипер- и парасимпатикотония у курсантов обеспечивает наиболее «широкий» коридор адаптации с коротким сердечно-легочным индексом, сохраняя внутрисистемный гомеостаз. В то же время абсолютные значения VLF не только достоверно изменяются под влиянием нагрузки, но и проявляют устойчивую тенденцию в режиме тренировок в группе курсантов в динамике прохождения ТДК. Ортостатическая тахикардия по 2 квартилю в группе «ликвидаторов» установлена во всех подгруппах, но процент ортостатической тахикардии по персоналиям – 93 % в 1 подгруппе (после ЧС), 55 % в восстановительный период, 73 % – в повседневных условиях.

Для уточнения выраженности изменений в выделенных группах был проведен сравнительный анализ индекса централизации (табл. 4).

Таблица 4

Индекс централизации в группах наблюдения (2 квартиль)

Условия сопоставления	ТДК		пожар	
	фон	АОП	фон	АОП
До нагрузки	1,04	7,38		
После нагрузки	1,47	4,71	1,81**	11,09***
Период восстановления (через 2 недели)	1,67	6,66	1,30**	5,07**
Режим повседневной деятельности (через 0,5 года)	0,9	1,6	1,38**	9,05***

Достоверность различий между группами : ** $\leq 0,05$ – достоверно, *** $\leq 0,001$ – высоко достоверно.

Учитывая, что норма значений индекса централизации лежит в диапазоне 2–8, реальные условия тушения пожара оказались более значимы для активизации центральных механизмов адаптации, чем моделируемые на полигоне. «Память адаптации» в группе «ликвидаторов» также оказалась более выраженной: в режиме повседневной деятельности, включающей практические занятия с отработкой пожарно-строевых нормативов и упражнений газодымозащитной службы, гиперадаптивные реакции [1] по показателю VLF (%) были установлены только в группе курсантов, участвовавших в тушении лесо-торфяных пожаров.

Для оценки степени сопряжения выявленных изменений был проведен корреляционный анализ между стресс-индексом и индексом централизации. Установлены значимые взаимосвязи только в группе «ликвидаторов»: при уровне значимости 0,04 по

ранговому критерию Спирмена установлена средней силы прямой направленности взаимосвязь $r=0,65$ (по критерию Тау Кендалла 0,52 при $\alpha=0,03$). Значимых взаимосвязей в группе после ТДК установлено не было.

Для оценки более тонких структур организации взаимодействия с внешней средой был проведен анализ характера реагирования на стресс с точки зрения возникновения энергодефицитных состояний (по А.Н. Флейшману, 1999) (табл.5).

Таблица 5

Относительное число лиц с энергодефицитными реакциями на опасные факторы пожара в группах наблюдения (% к общему числу)

Условия сопоставления	ТДК		пожар	
	фон	АОП	фон	АОП
До нагрузки	36	18		
После нагрузки	27	9	14*	0*
Период восстановления (через 2 недели)	18	27	9*	9*
Режим повседневной деятельности (через 0,5 года)	36	18	15*	0*

*– различия достоверны при уровне значимости 0,05.

Наглядно продемонстрировано, что эффект воздействия реальных условий тушения пожара в возникновении энергодефицитных состояний менее выражен. Вероятно, это происходит за счет «перераспределения» иерархических взаимоотношений в трех контурах регуляции вегетативного обеспечения деятельности сердца в сторону центральных механизмов и отражает включение механизмов компенсации.

Из группы лиц, сохранявших реакцию энергодефицитной в динамике наблюдения как при фоновой, так и при выполнении АОП, были обследованы 2 человека (1 из группы ТДК и 1 – после пожаров), сопоставимые по возрасту, группе профессиональной пригодности, условиям быта на предмет возникновения профессиональной дезадаптации. Признаки профессиональной дезадаптации были определены у обоих курсантов. Но у курсанта после участия в тушении пожаров по 2 критериям из 3: показатель 30/15 уменьшился на 28 %, а LF/HF_{АОП} увеличился на 32 %; из группы в динамике моделируемой нагрузки в ТДК по 1 из 3: показатель 30/15 уменьшился на 35 %. Уменьшение показателя TP у обоих курсантов носило не критический для профессиональной дезадаптации характер.

Заключение. Таким образом, изучение отдельных компонентов вариабельности сердечного ритма в динамике воздействия опасных факторов пожара (как в условиях реального боевого применения, так и в моделируемых на полигоне) значительно расширяет возможности объективной оценки реакций организма пожарного и спасателя, позволяя на

донозологическом уровне выявить группу риска по развитию стресс-индуцированных состояний и, в перспективе, стрессогенных заболеваний. Реальные условия пожара и их субъективное восприятие курсантами оказали более значимое воздействие на механизмы адаптации и компенсации: в данной группе энергодефицитные состояния возникали реже, а «стрессогенный след адаптации» был устойчивее.

Список литературы

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем [Электронный ресурс] / Р.М. Баевский и др. // Вестник аритмологии. URL: <http://www.vestar.ru/article.jsp?id=1267>.
2. Королева С.В. Способ оценки профессиональной адаптации курсантов образовательных учреждений МЧС России // Патент России №2480151.2013.Бюл.№ 12.– 10 с.
3. Королева С.В. Инновационные технологии объективной оценки профессиональной адаптации // Материалы научно-практической конференции «Инновационные технологии психологического сопровождения профессиональной деятельности специалистов экстремального профиля и психологического обеспечения чрезвычайных ситуаций». – Москва: Международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность – 2011». – С. 62-67.
4. Котельников С.А. Variability ритма сердца: представления о механизмах [Электронный ресурс] // Мединфа. URL: <http://medinfa.ru/article/16/118229/> (дата обращения 25.02.2015).
5. Михайлов В.М. Variability ритма сердца: опыт практического применения метода. – 2-е изд., перераб. и доп. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290с.
6. Новые возможности метода анализа variability сердечного ритма у курсантов со стресс-индуцированными заболеваниями / А.С. Мкртычян и др. // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2014. – № 2. – С. 33-37.
7. Похачевский А.Л. Определение объективного критерия выносливости для диагностики здоровья здоровых // Вестник восстановительной медицины. – 2008. – № 5 (27). – С. 93-97.
8. Флейшман А.Н., Мартынов И.Д. Определение структуры медленных колебаний сердечного ритма и анализ ее компонентов на фоне функциональных нагрузок [Электронный ресурс]. URL: http://www.ni-kpg.ru/8-9_10_14_konf_docs/46.doc.

9. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis / S. Akselrod [et al.] // Am. J. Physiol. – 1985. – Vol. 249. – P. 867-875.
10. Thayer J.F., Lane R.D. Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration / J.F. Thayer, // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. – 2009. – Vol. 33, No. 2. – P. 81-88.

Рецензенты:

Мясоедова С.Е., д.м.н., профессор, зав. кафедрой терапии и эндокринологии ИПО ГБОУ ВПО ИвГМА Минздрава РФ, г. Иваново;

Карасева Т.В., д.м.н., профессор, зав. кафедрой здоровьесберегающих технологий и адаптивной физической культуры ФГБОУ ВПО ИвГУ, г. Иваново.