

Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок

В. А. Машин

Нововоронежский учебно-тренировочный центр подготовки специалистов для АЭС,
396072 Россия, г. Нововоронеж, Воронежская обл., НВУТЦ АТЭ, промзона.

E-mail: utc@vmail.ru

Резюме

С помощью трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма проанализирована динамика функциональных классов при воздействии эмоциональных и психических нагрузок в гомогенных (по полу и возрасту) группах российских ($N=169$, средний возраст 24.7 лет), иранских ($N=150$, средний возраст 25.9 лет) и китайских ($N=104$, средний возраст 25.0 лет) обследуемых. Исследование проводилось в рамках профессионального отбора здоровых мужчин на оперативные должности АЭС. Представлена классификация функциональных классов на основе трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма. Описаны различия между группами в динамике функциональных классов на трех стадиях исследования: исходное состояние, психическая нагрузка и восстановление. Особое внимание уделено характерным особенностям динамики функциональных классов эмоционального возбуждения и психического напряжения на каждой стадии исследования.

Ключевые слова: кросс-культурное исследование, функциональное состояние, вариабельность сердечного ритма, психическая нагрузка.

В серии статей мы представили результаты исследований влияния различных психических и эмоциональных нагрузок на функциональное состояние человека с использованием трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма (Машин, Машина, 2002, 2004; Машин, 2007а, 2007б, 2007с).

Под функциональным состоянием мы понимаем характеристику нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных функций в процессе деятельности или поведения человека. Приспособление субъекта к изменяющимся условиям внешней среды, физическая и психическая активность ("эрготропное" поведение; Hess, 1964; Gellhorn, 1968, 1970), требуют от неспецифических (надсегментарных) корково-лимбических структур головного мозга обеспечения согласованного ответа психических, соматических и вегетативных функций (Вейн, 2003). При этом специфические (сегментарные) структуры головного мозга, образованные симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС), способствуют поддержанию гомеостатического

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

равновесия. В состоянии относительного покоя, когда нет возмущающих воздействий и отсутствует активная работа любого характера ("трофотропное" поведение; Hess, 1964; Gellhorn, 1968, 1970), сегментарные структуры головного мозга могут обеспечить существование организма на рефлекторном уровне (Вейн, 2003). Показатели активности надсегментарных и сегментарных структур головного мозга, обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных компонентов деятельности и поведения, и послужили нам индикаторами функционального состояния человека. Для оценки активности надсегментарных и сегментарных структур головного мозга (А.М. Вейн ввел понятия надсегментарных и сегментарных отделов ВНС; Вейн, 2003) мы использовали показатели variability сердечного ритма (BCP), поскольку, согласно модели нейровегетативного взаимодействия J.F. Thayer и В.Н. Johnsen (2004), их активность детерминирует не только когнитивно-аффективные компоненты деятельности и поведения, но и BCP.

В основу классификации функциональных состояний была положена разработанная нами трехфакторная модель вегетативной регуляции сердечного ритма (Машин, Машина, 2004). Первый фактор этой модели отражает общий тонус ВНС и оценивается показателем $SDNN$ - среднее квадратическое отклонение R-R интервалов (рекомендации XIX-XXII конгрессов европейского общества кардиологов; Степура и др., 2002). Второй фактор характеризует баланс активности надсегментарного и сегментарного отделов ВНС и оценивается показателем b_1 - тангенс угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма (Машин, Машина, 2004; Машин, 2006). Третий фактор определяет баланс активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС и оценивается показателем M_{NN} - средний R-R интервал (Coumel et al., 1995; Goldberger, 1999; Murakawa et al., 1993).

С помощью нормированных показателей трехфакторной модели вегетативной регуляции сердечного ритма можно описать 8 классов функциональных состояний (Машин, Машина, 2004; Машин, 2007а). Важной особенностью первых четырех функциональных классов является высокий общий тонус ВНС (высокие значения $SDNN$). В первом классе "Норма" (ФК1) дополнительно отмечается преобладание активности сегментарного и парасимпатического отделов ВНС (низкие значения b_1 и высокие значения M_{NN}). Функциональные состояния данного класса характерны для трофотропного поведения: активный покой, различные стадии расслабления и сна. Во втором функциональном классе "Норма с преобладанием симпатической активности" (ФК2), в отличие от первого наблюдается преобладание активности симпатического отдела ВНС. Данный функциональный класс диагностируется у лиц с высоким тонусом активности в

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

состоянии покоя, а также при экономичной регуляции сердечного ритма в процессе психической нагрузки (Баевский и др., 1988). Следующий функциональный класс "Эмоциональное возбуждение" (ФК3) отличается от класса "Норма" преобладанием активности надсегментарного отдела ВНС. Если при этом дополнительно наблюдается преобладание активности симпатического отдела ВНС, то диагностируется четвертый функциональный класс "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4). Функциональные состояния данных классов характерны для периодов тревожного ожидания выполнения ответственных заданий (мобилизационная фаза эрготропной деятельности), а также для периодов после их выполнения (переходная фаза от эрготропной к трофотропной деятельности) (Машин, 2007b).

Для заключительных функциональных классов предложенной классификации характерен низкий общий тонус ВНС (низкие значения $SDNN$). Состояния пятого функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5, преобладание активности надсегментарного и симпатического отделов ВНС – высокие значения b_I и низкие M_{NN}) типичны для воздействия когнитивного компонента психической нагрузки и отражают разные степени психического напряжения и концентрации усилий субъекта на задаче (исполнительная фаза эрготропной деятельности). Шестой функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" (ФК6) отличается от предыдущего преобладанием активности парасимпатического отдела ВНС. Функциональные состояния данного класса диагностируются при психическом утомлении с астено-невротической симптоматикой, а также могут служить индикаторами патологических процессов (атеросклероз, рак) и вызванных ими ипохондрических мыслей. Следующий функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур" (ФК7) диагностируется в процессе психической нагрузки, но в отличие от класса "Психическое напряжение" в этом случае наблюдается парадоксальная активность сегментарного отдела ВНС (снижение показателя b_I). Анализ показал, что снижение b_I обусловлено наличием в динамике сердечного ритма низкоамплитудного стохастического шума в высокочастотной области. Согласно полученным клиническим данным (анализ ЭКГ), обнаружение такого стохастического шума в процессе психической нагрузки может служить ранним индикатором развития нарушений проводимости сердца. Другой возможный источник высокочастотного стохастического шума – помехи от мышечных сокращений при регистрации сердечного ритма. Последний функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (ФК8) имеет много общего с классом "Норма". Главное отличие – низкий общий

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

тонус ВНС. Функциональные состояния данного класса характерны для хронических форм психического утомления.

В представленной работе мы попытались исследовать с помощью трехфакторной модели ВСР кросс-культурные различия в динамике описанных функциональных классов при воздействии психических и эмоциональных нагрузок. В настоящее время получены убедительные доказательства в пользу своеобразия организации когнитивных процессов в различных культурах, например, пространственного восприятия (Haun et al., 2006), восприятия мимических выражений эмоций (Barrett et al., 2007) и цвета (Winawer et al., 2007), сенсорного различия (Baranski, Petrusic, 1999), оценки риска (Hsee, Weber, 1999), уверенности в правильности своего выбора (Yates et al., 1996). F.S. Niles (1995) обнаружил различия стратегий научения и мотивации к обучению, обусловленные особенностями культур: коллективистских (азиатских) и индивидуалистских (западных). Продемонстрированы различия в стратегиях решения арифметических задач, а также обеспечивающих их паттернах мозговой активации, для групп обследуемых, родной язык которых английский или китайский (Campbell, Xue, 2001; Cantlon, Brannon, 2007; Tang et al., 2006). Кросс-культурная взаимосвязь различий в языке с активностью структур мозга в процессе решения когнитивных задач была установлена в исследованиях (Kobayashi et al., 2006, 2007).

Своеобразие представленной работы заключается в том, что на сегодняшний день в многообразии кросс-культурных исследований отсутствуют примеры анализа динамики функциональных состояний при воздействии психических или эмоциональных нагрузок. Для диагностики функциональных состояний мы использовали разработанную нами классификацию функциональных классов на основе трехфакторной модели вегетативной регуляции variability сердечного ритма. Регистрация сердечного ритма проводилась в рамках общей процедуры профессионального отбора персонала на оперативные должности для АЭС. Объективная сложность тестовых заданий, психологическое давление ситуации отбора, значимость результатов тестирования обеспечивали высокую мотивацию обследуемых и возможность моделировать не только психические (когнитивные), но и эмоциональные нагрузки. Исходными данными для проведения кросс-культурных исследований послужили результаты обследований российских, иранских и китайских специалистов.

Методика

В эксперименте были использованы результаты обследований кандидатов на оперативные должности АЭС, которые проходили профессиональный отбор в лаборатории

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

психофизиологического обеспечения Нововоронежского учебно-тренировочного центра подготовки специалистов для АЭС (ЛПФО НВУТЦ). По результатам обследований были сформированы три однородные группы по полу (мужской) и возрасту (согласно непараметрическому U – критерию Манна-Уитни для независимых выборок): (1) российские специалисты - 169 человек (средний возраст Age - 24.7 лет, стандартное отклонение SD - 2.20 лет), (2) иранские специалисты – 150 человек (Age - 25.9 лет, SD - 2.15 лет) и (3) китайские специалисты – 104 человека (Age - 25.0 лет, SD - 2.07 лет). У всех кандидатов отсутствовали какие-либо клинические формы нарушения здоровья. Запись QRS-комплексов нормальных синусовых кардиоциклов электрокардиограммы (ЭКГ) и последующее выделение из них R-R интервалов (в миллисекундах) производилась с помощью 3-х канального программно-аппаратурного комплекса «Варикард-1.51» (частота дискретизации 500 Гц). Хранение, редактирование R-R интервалов (коррекция артефактов, экстрасистол на ритмограмме), расчет нормированных факторных показателей BCP ($SDNN$, b_I , M_{NN}) и диагностика функциональных классов на основе трехфакторной модели BCP производились с применением компьютерной программы "MABP.DBBase-HRV", разработанной в ЛПФО НВУТЦ. В анализе использовались средние для каждого обследуемого значения факторных показателей BCP, рассчитанные по стационарным "скользящим" выборкам объемом 256 R-R интервалов и шагом 10 R-R интервалов. Для проверки выборок на стационарность применялся непараметрический метод Вяльда-Вольфовитца. Статистический анализ данных был выполнен с помощью программы "Statistica for Windows 6.0".

Регистрация R-R интервалов проводилась в первой половине дня, в положении "сидя в кресле" и включала в себя 3 этапа. Этап I (исходное состояние, длительность 10 минут) представлял собой ситуацию тревожного ожидания обследуемыми начала выполнения ответственных заданий. В качестве психической нагрузки на II этапе использовалась методика Шульте-Горбова "Черно-красная таблица" (компьютерный вариант данной методики был разработан в ЛПФО НВУТЦ; Машин, 2007а). Регистрация сердечного ритма производилась в процессе выполнения наиболее сложного третьего задания данной методики (двойная задача). Длительность второго этапа зависела от скорости и безошибочности работы обследуемого. После психической нагрузки на III этапе следовал восстановительный период (длительность 10 минут), для которого, как показали наши исследования, характерны тревожные переживания обследуемых (руминация) по поводу выполненного теста (Машин, 2007с). Во время регистрации сердечного ритма специально было уделено большое внимание контролю факторов, которые могли бы повлиять на

показатели ВСР. Во время всей процедуры тестирования и регистрации сердечного ритма от обследуемых требовалось не разговаривать (контроль фактора речи). В процессе выполнения тестовых заданий обследуемые совершали незначительные движения правой рукой для управления компьютерной "мышью" (контроль фактора движений). Кроме этого, моделируемые в наших экспериментах психические нагрузки (согласно исследованию J.H. Noutveen et al., 2002) позволяют использовать показатели ВСР без коррекции по эффектам дыхания. Таким образом, предложенная процедура позволила не только смоделировать значимые для обследуемых психические и эмоциональные нагрузки, но также обеспечить необходимый уровень контроля экспериментальной ситуации.

Результаты исследования

В таблице сопряженности (табл. 1) представлена частота диагностирования с помощью трехфакторной модели ВСР функциональных классов в исследуемых группах, обследуемых на различных этапах исследования.

	Исходное состояние			Психическая нагрузка			Восстановление		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
ФК1	12	23	15	14	15	10	10	17	13
ФК2	1	1	1	7	8	4	2	0	0
ФК3	68	55	50	26	16	3	75	63	58
ФК4	36	46	19	48	22	5	49	48	13
ФК5	44	20	7	53	63	55	25	15	9
ФК6	4	3	4	3	1	2	5	5	9
ФК7	3	0	0	13	23	15	1	0	0
ФК8	1	2	8	5	2	10	2	2	2

Таблица 1. Частота функциональных классов на трех этапах исследования для групп: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

В начале, с помощью критерия Пирсона χ^2 была выполнена проверка нулевой гипотезы об отсутствии различий частот функциональных классов между группами для каждого этапа регистрации сердечного ритма. Предварительно были сгруппированы значения ФК2, ФК6, ФК7 и ФК8, для которых ожидаемые частоты по таблице

сопряженности были меньше 5 (Ллойд и др., 1989). Согласно критерию нулевая гипотеза об отсутствии различий частот функциональных классов между тремя группами должна быть отвергнута для всех этапов исследования: (I) $\chi^2 = 35.43$, $df = 8$, $p = 0.0000$; (II) $\chi^2 = 43.88$, $df = 8$, $p = 0.0000$; (III) $\chi^2 = 22.56$, $df = 8$, $p = 0.0040$. Этот же вывод относится и к парному сравнению групп. Исключение составила лишь частота функциональных классов на этапе восстановления в группах российских и иранских обследуемых, для которых нельзя отклонить гипотезу об однородности: $\chi^2 = 4.78$, $df = 4$, $p = 0.3103$. Для более детального понимания различий между группами мы дополнительно проанализировали их относительные частоты функциональных классов для каждого этапа исследования.

На первом шаге мы попытались выяснить характер динамики относительных частот функциональных классов в группах на разных стадиях исследования. Для этого с помощью долевого t -критерия Стьюдента для каждой группы мы проверили гипотезу об отсутствии различий относительных частот функциональных классов между различными этапами исследования. Результаты анализа приведены в табл. 2.

	Российская группа			Иранская группа			Китайская группа		
	I-II	II-III	I-III	I-II	II-III	I-III	I-II	II-III	I-III
ФК1	.6842	.3989	.6605	.1662	.7093	.3090	.2884	.5086	.6854
ФК2	.0325	.0918	.5629	.0186	.0045	.3172	.1752	.0446	.3178
ФК3	.0000	.0000	.4417	.0000	.0000	.3455	.0000	.0000	.2683
ФК4	.1319	.9046	.1042	.0010	.0005	.8041	.0027	.0499	.2502
ФК5	.2804	.0003	.0107	.0000	.0000	.3697	.0000	.0000	.6039
ФК6	.7038	.4763	.7365	.3164	.1009	.4751	.4067	.0312	.1542
ФК7	.0110	.0012	.3128	.0000	.0000	1.000	.0001	.0001	1.000
ФК8	.0999	.2513	.5629	1.000	1.000	1.000	.6211	.0182	.0531

Таблица 2. Значения двухстороннего критерия значимости (p) долевого t -критерия Стьюдента для проверки в группах гипотезы о равенстве относительных частот функциональных классов на разных этапах исследования: I – исходное состояние, II – психическая нагрузка, III – восстановление.

Согласно долевого t -критерию Стьюдента для групп иранских и китайских обследуемых при переходе от исходного состояния к психической нагрузке наблюдался значимый рост доли функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5) и снижение относительной частоты функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4). После психической нагрузки на стадии восстановления прослеживалась обратная динамика: снижение доли ФК5 и рост относительной частоты ФК3 и ФК4. Для группы российских обследуемых такая динамика при смене этапов была отмечена только для функционального класса "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), кроме этого наблюдалось значимое изменение доли ФК5 (снижение) лишь после психической нагрузки.

Общим для всех трех групп являлось отсутствие значимых различий между относительными частотами функциональных классов в исходном состоянии и на стадии восстановления. Лишь в группе российских обследуемых наблюдалась, на уровне тенденции, более высокая доля ФК5 в исходном состоянии (она незначительно повышалась при психической нагрузке и значимо снижалась на стадии восстановления). Для каждой группы мы сравнили частоты функциональных классов до и после психической нагрузки с помощью критерия χ^2 и подтвердили вывод об отсутствии различий между ними: (2) $\chi^2 = 2.28, df = 4, p = 0.6851$; (3) $\chi^2 = 2.28, df = 4, p = 0.6849$.

Умеренная оценка однородности частот для группы российских специалистов ($\chi^2 = 7.80, df = 4, p = 0.0993$) была вызвана значимыми различиями частоты ФК5 и тенденцией к более высоким значениям частоты ФК4 на стадии восстановления. Гипотеза об однородности частот при сравнении других этапов отвергалась для всех групп при $p = 0.0000$. Дополнительно для каждой группы с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена мы проверили гипотезу о связи частот функциональных классов до и после выполнения ответственного задания. Были получены данные в пользу высокой связи анализируемых показателей для каждой группы: (1) $R = 0.9036, p = 0.0021$; (2) $R = 0.9940, p = 0.0000$; (3) $R = 0.9092, p = 0.0017$. Значения коэффициента корреляции Пирсона (форма регрессии линейна) носили схожий характер: (1) $r = 0.9419, p = 0.0005$; (2) $r = 0.9866, p = 0.0000$; (3) $r = 0.9720, p = 0.0001$. В тоже время связь частот функциональных классов, диагностированных в группах в процессе психической нагрузки, с частотой функциональных классов, диагностированных на других этапах, не была обнаружена с помощью корреляционного анализа.

На следующем шаге с помощью долевого t -критерия Стьюдента была выполнена проверка нулевой гипотезы об отсутствии групповых различий относительных частот

функциональных классов на разных этапах исследования. Результаты анализа представлены в табл. 3.

	Исходное состояние			Психическая нагрузка			Восстановление		
	(1)-(2)	(1)-(3)	(2)-(3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(2)-(3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(2)-(3)
ФК1	.0195	.0501	.8417	.5941	.7045	.9205	.0841	.0584	.7765
ФК2	.9281	.7277	.7975	.6165	.9059	.5851	.1835	.2677	1.000
ФК3	.5137	.2052	.0706	.2152	.0013	.0211	.6688	.0686	.0317
ФК4	.0569	.5449	.0268	.0033	.0000	.0128	.5601	.0018	.0004
ФК5	.0050	.0001	.0945	.0495	.0005	.0886	.1982	.1368	.7179
ФК6	.8221	.4822	.3768	.3753	.9333	.3655	.8500	.0394	.0688
ФК7	.1019	.1727	1.000	.0321	.0762	.8417	.3480	.4343	1.000
ФК8	.4943	.0016	.0109	.3219	.0198	.0024	.9043	.6212	.7104

Таблица 3. Значения двухстороннего критерия значимости (p) долевого t -критерия Стьюдента для проверки на трех этапах исследования гипотезы о равенстве относительных частот функциональных классов пар групп: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

Согласно долевого t -критерию Стьюдента, в процессе ожидания выполнения ответственных заданий (см. табл. 3, рис. 1) в группе российских обследуемых наблюдалась значимо более высокая доля ФК5 в сравнении с другими группами. Группа китайских обследуемых отличалась значимым повышением доли ФК8. Обнаружена (на уровне тенденции) более низкая относительная частота ФК1 в группе российских обследуемых и более высокая доля ФК4 в группе иранских обследуемых.

Отметим в исходном состоянии характерное для всех трех групп обследуемых доминирование функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4).

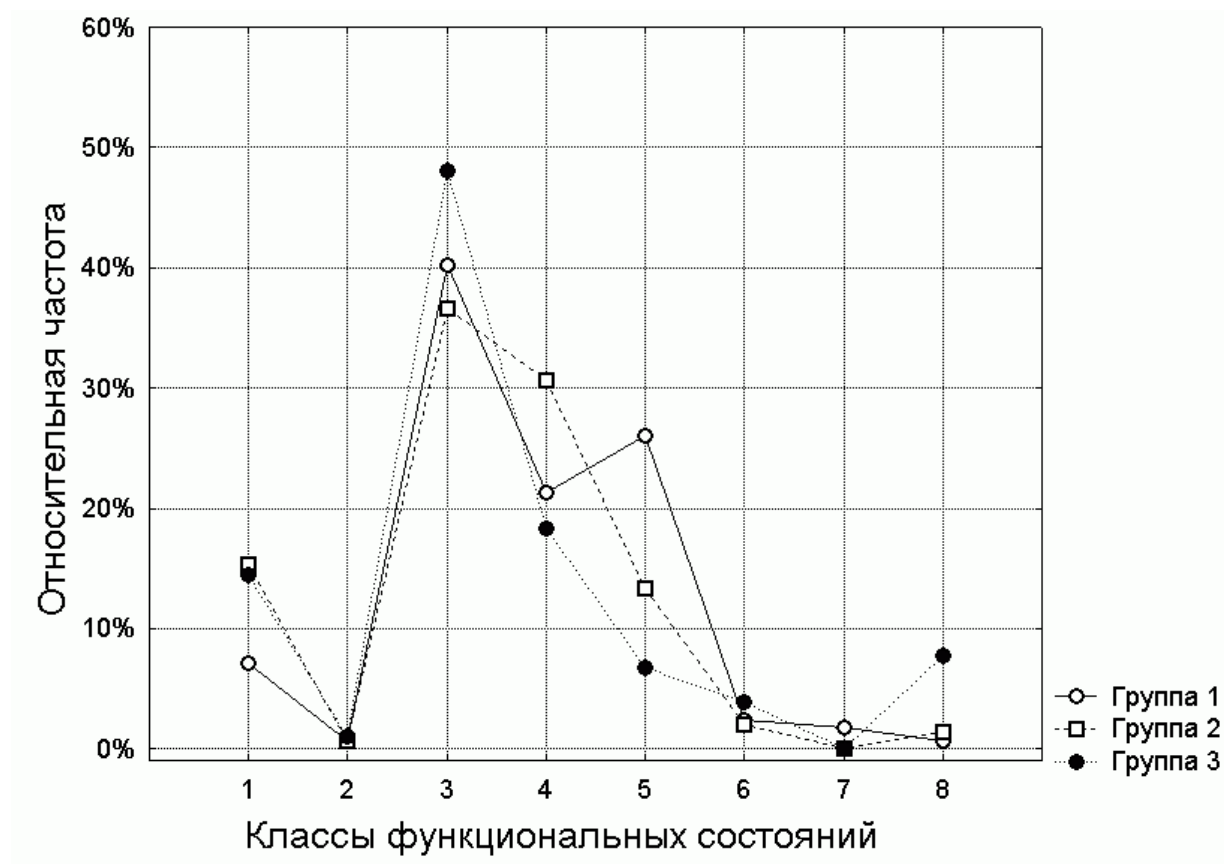


Рисунок 1. Относительная частота функциональных классов на первом этапе (исходное состояние) для групп: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

	Исходное состояние			Психическая нагрузка			Восстановление		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
ФК3-ФК4	.0002	.2724	.0000	.0040	.2985	.4700	.0036	.0739	.0000
ФК3-ФК5	.0059	.0000	.0000	.0006	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
ФК4-ФК5	.3061	.0003	.0126	.5526	.0000	.0000	.0017	.0000	.3677
ФК1-ФК3	.0000	.0000	.0000	.0441	.8490	.0460	.0000	.0000	.0000
ФК1-ФК4	.0002	.0018	.4536	.0000	.2197	.1815	.0000	.0000	1.000
ФК1-ФК5	.0000	.6214	.0728	.0000	.0000	.0000	.0078	.7093	.3677

Таблица 4. Значения двухстороннего критерия значимости (p) долевого t-критерия Стьюдента для проверки на трех этапах исследования гипотезы о равенстве относительных

частот функциональных классов в группах: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

На стадии психической нагрузки (табл. 3, рис. 2) в группе китайских специалистов отмечаются значимо более низкие относительные частоты функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) и более высокая доля ФК5 (различия на уровне тенденции с группой иранских специалистов) в сравнении с другими группами. Для российских специалистов на этом этапе характерна более высокая относительная частота ФК4 и более низкая доля ФК5.

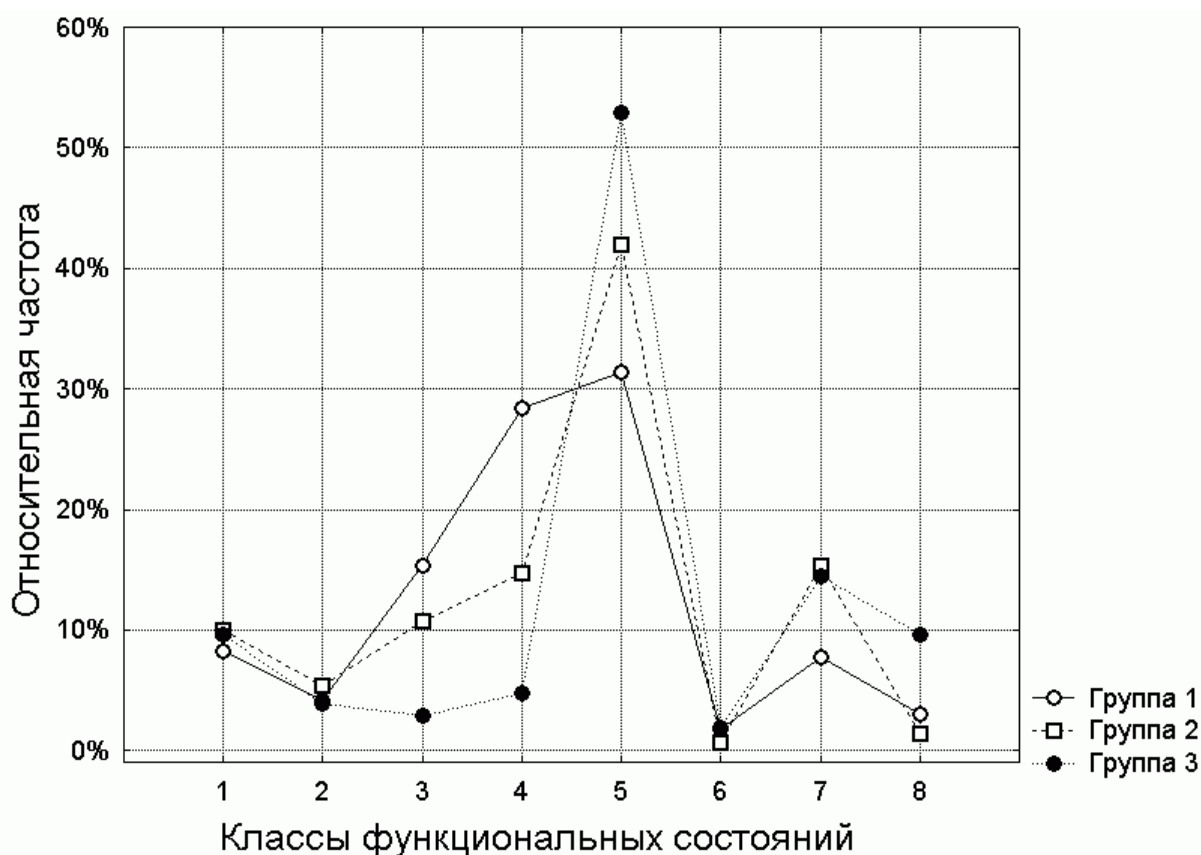


Рисунок 2. Относительная частота функциональных классов на втором этапе (психическая нагрузка) для групп: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

Мы отмечали выше характерный рост относительной частоты "Психическое напряжение" (ФК5) и снижение суммарной доли функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) при переходе с исходного состояния на стадию психической нагрузки во всех группах (см. табл. 2). Согласно долевого *t*-критерию Стьюдента относительная частота ФК5 значимо отличалась от суммарной доли ФК3 и ФК4 для всех трех групп: (1) $p = 0.0141$, (2) $p = 0.0020$, (3) $p = 0.0000$. В тоже время динамика этих показателей в группах была различна. Так в группе китайский специалистов доля ФК5 возросла с 7% до 53%, а суммарная доля ФК3 и ФК4 снизилась с 66% до 8%; в группе

иранских специалистов доля ФК5 возросла с 13% до 42%, а суммарная доля ФК3 и ФК4 снизилась с 68% до 25%; в группе российских специалистов доля ФК5 возросла с 26% до 31%, а суммарная доля ФК3 и ФК4 снизилась с 61% до 44%. Если в первых двух группах наблюдалось значимое преобладание доли ФК5 над относительной частотой функциональных классов эмоционального возбуждения (наиболее ярко это представлено в группе китайских специалистов), то в группе российских обследуемых в ситуации психической нагрузки доля функционального класса "Психическое напряжение" ниже, чем суммарная доля ФК3 и ФК4. На этом этапе в группе российских специалистов относительная частота ФК4 и ФК5, между которыми отсутствовали значимые различия, была значимо выше доли ФК3 (см. табл. 4). Для групп иранских и китайских обследуемых доля функционального класса ФК5 была значимо выше ФК3 и ФК4, между которыми отсутствовали значимые различия.

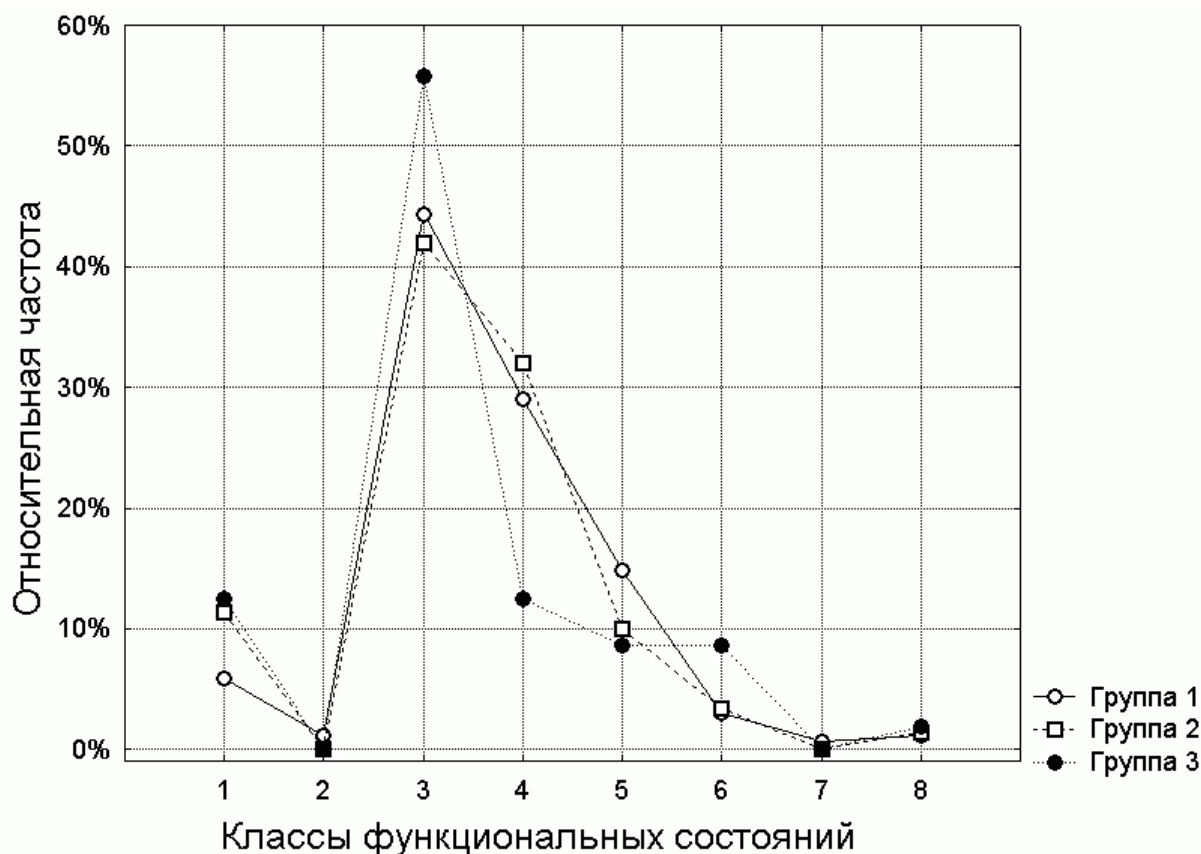


Рисунок 3. Относительная частота функциональных классов на третьем этапе (восстановление) для групп: (1) – российские, (2) – иранские, (3) – китайские обследуемые.

Во всех трех группах доля ФК2, ФК6 и ФК8 (за исключением ФК8 в группе китайских специалистов) не превышала 5%. Примечательно, что в группе китайских специалистов относительная частота функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) была также ниже 5%.

Согласно критерию χ^2 на третьем этапе исследования, после выполнения ответственного задания относительная частота функциональных классов групп российских и иранских специалистов значимо не различалась (лишь на уровне тенденции можно отметить более низкую долю ФК1 в первой группе). А вот для группы китайских специалистов характерна значимо более низкая относительная частота ФК4 и более высокая, на уровне тенденции, доля ФК3 и ФК6 (см. табл. 3, рис. 3).

На этапе восстановления вновь отмечается характерное для всех трех групп доминирование функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4). Суммарная доля относительных частот ФК3 и ФК4 для групп составила: (1) 73%, (2) 74% и (3) 68%. Согласно долевого t -критерию Стьюдента она значимо отличалась от суммарной относительной частоты остальных функциональных классов для всех трех групп ($p = 0.0000$). При этом для ФК2, ФК6, ФК7 и ФК8 относительная частота не превышала 4% (за исключением ФК6 в группе китайских специалистов).

После психической нагрузки доля ФК3 в группе российских обследуемых значимо была выше доли ФК4, которая, в свою очередь, была выше доли ФК5 (см. табл. 4). Сходная картина наблюдалась в группе иранских обследуемых, в которой различия между ФК3 и ФК4 носили характер тенденции. Для группы китайских специалистов характерно доминирование относительной частоты ФК3 над ФК4 и ФК5, между которыми отсутствовали различия.

Дополнительно к таблице сопряженности мы рассчитали степень выраженности (интенсивности, глубины) функциональных классов в процентах на основе значений нормированных факторных показателей ($SDNN$, b_I , M_{NN}). Отсутствие нормальности распределения исследуемого признака (критерий Шапиро-Уилка) и гомогенности дисперсий анализируемых групп (критерии Левена и Брауна-Форсайта), не позволили применить дисперсионный анализ для оценки связи групп обследуемых со степенью выраженности функциональных классов на разных этапах регистрации сердечного ритма. Поэтому для этих целей мы использовали непараметрические критерии.

Согласно непараметрическому дисперсионному анализу Краскела-Уоллиса была отвергнута нулевая гипотеза об отсутствии различий между тремя группами по степени выраженности ФК5 на стадии психической нагрузки ($H = 12.60$, $p = 0.0018$) и ФК3 на стадии восстановления ($H = 9.48$, $p = 0.0087$). Использование непараметрического U -критерия Манна-Уитни для двух независимых групп позволили установить значимо более низкие значения степени выраженности ФК5 для группы российских обследуемых ($Me = 40\%$, $IQR = 22\%$ - медиана и интерквартильный размах) во время психической

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

нагрузки в сравнении с группами иранских ($Me = 55\%$, $IQR = 22\%$) и китайских ($Me = 53\%$, $IQR = 31\%$) обследуемых: соответственно, $Z_{12} = -2.92$, $p = 0.0036$ и $Z_{13} = -3.21$, $p = 0.0013$. Согласно U -критерию Манна-Уитни по степени выраженности ФК3 на стадии восстановления значимо более низкие значения имела группа иранских обследуемых ($Me = 32\%$, $IQR = 10\%$) в сравнении с группами российских ($Me = 36\%$, $IQR = 12\%$) и китайских обследуемых ($Me = 37\%$, $IQR = 22\%$): соответственно, $Z_{12} = -3.26$, $p = 0.0011$ и $Z_{23} = -2.06$, $p = 0.0393$.

Поскольку в процессе исследования существовала значительная индивидуальная динамика диагностируемых функциональных классов от этапа к этапу, мы не смогли проанализировать для каждой группы динамику степени выраженности функциональных классов на разных стадиях исследования с помощью непараметрического критерия Вилкоксона для зависимых выборок. Так от исходного состояния к стадии психической нагрузки процент изменений функциональных классов индивидов составил в группах: (1) 51.3%, (2) 75.3% и (3) 84.6%. Такая же индивидуальная динамика функциональных классов отмечена и после психической нагрузки: (1) 59.7%, (2) 77.3% и (3) 86.7%.

Обсуждение результатов исследования

Согласно нашей классификации функциональных состояний, на стадии ожидания ответственного задания и стадии восстановления (воздействие эмоциональной нагрузки) зафиксировано доминирование функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4). В процессе выполнения ответственного задания (психическая нагрузка) преобладание функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5) было установлено в группах иранских и китайских обследуемых. В группе российских специалистов наряду с высокой долей ФК5 на этой стадии отмечалась и высокая частота функционального класса "Эмоциональное возбуждение с преобладанием активности симпатического отдела ВНС" (ФК4). На причинах такой динамики мы остановимся ниже.

Необходимо отметить во всех трех группах значимый рост во время психической нагрузки частоты функционального класса "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур" (ФК7) и ее снижение на стадии восстановления. Дополнительный клинический анализ (данные ЭКГ) установил основную причину диагностики ФК7: напряжение скелетных мышц, тремор при регистрации сердечного ритма. Это позволяет отнести его к функциональному классу "Психическое напряжение" (ФК5). В будущем необходимо предусмотреть использование специальных высокочастотных фильтров при регистрации ЭКГ в процессе психической нагрузки.

Рассмотрим теперь характерные для каждой группы особенности динамики функциональных классов, диагностированных с помощью трехфакторной модели ВСР на разных этапах исследования.

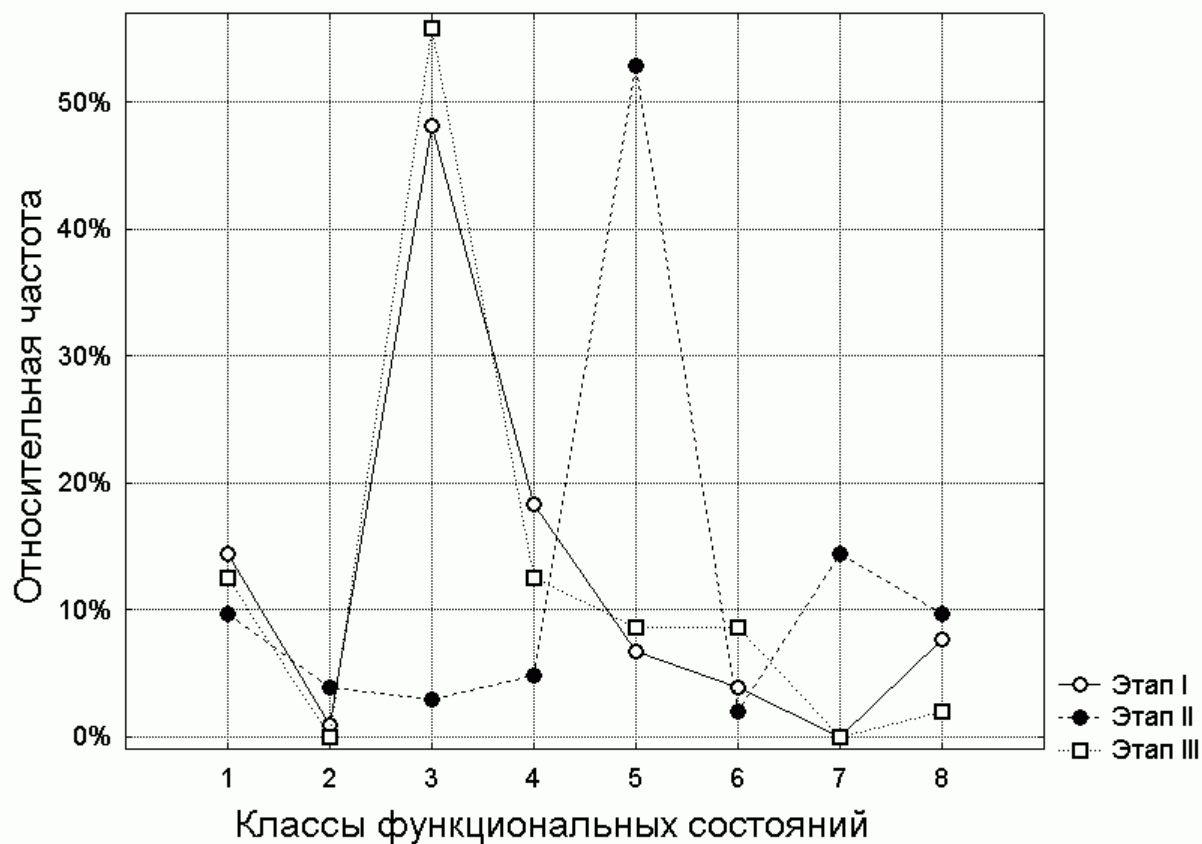


Рисунок 4. Относительная частота функциональных классов для группы китайских обследуемых на трех этапах исследования: I – исходное состояние, II – психическая нагрузка, III – восстановление.

Для группы китайских обследуемых мы получили яркую динамику функциональных классов в ответ на психическую нагрузку (см. рис. 4). В исходном состоянии в этой группе наблюдается выраженная частота функционального класса "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), что указывает на высокую мотивацию обследуемых и обеспечивает гибкую мобилизацию нервных ресурсов организма, быструю подстройку его функциональных систем для решения предстоящей задачи (Машин, 2007с). В ситуации психической нагрузки для группы китайских специалистов была характерна высокая доля функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5) и крайне низкая доля функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4), что отражает высокую концентрацию усилий обследуемых на задаче. Здесь необходимо отметить очень высокую эффективность выполнения тестового задания в этой группе, включая скорость и безошибочность действий. После психической нагрузки в группе китайских обследуемых

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

вновь наблюдается выраженная частота функционального класса "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), что отражает эмоциональные переживания обследуемых по поводу результатов своей работы (еще раз подтверждается высокая значимость ситуации обследования для субъектов).

Отдельно остановимся на динамике функционального класса "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (ФК8) в группе китайских специалистов. Согласно нашим исследованиям, данный функциональный класс диагностируется у лиц с различной степенью психического утомления (Машин, Машина, 2002, 2004). Именно в группе китайских специалистов отмечается относительно высокая доля данного функционального класса в исходном состоянии. В процессе психической нагрузки относительная частота ФК8 сохраняется, а после выполнения ответственного задания наблюдается ее снижение, но при этом возрастает доля функционального класса "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" (ФК6). Функциональный класс ФК6 также характеризует психическое утомление, но в отличие от ФК8 для него характерно преобладание активности надсегментарного (корково-лимбического) уровня в регуляции сердечного ритма, что наблюдается при астено-невротических состояниях. Повышенная активность корково-лимбических структур на стадии восстановления может отражать эмоциональные переживания обследуемых с симптомами психического утомления по поводу результатов выполнения ответственного задания (Машин, 2007с).

Объяснение значительной доли функциональных состояний, связанных с психическим утомлением, можно найти в характерной для группы китайских специалистов копинг-стратегии. Индивидуумам данной группы присуща высокая мотивация достижения, стремление получить во всех задачах максимальный результат. При этом групповые ценности доминируют над индивидуальными и диктуют определенные формы и цели поведения для ее членов (проявление коллективистской культуры). Испытывая давление группы, каждый индивид стремится "не потерять лицо" и соответствовать групповым стандартам. Для усвоения обширного учебного материала индивиды могут изнурять себя многочасовой самостоятельной работой над учебниками и конспектами в ущерб полноценному отдыху. Как результат – зафиксированное нами снижение функциональных резервов у части китайских обследуемых. Именно в этом мы видим главную причину повышенной частоты функциональных классов психического утомления (ФК8 и ФК6) в данной группе специалистов.

Отличительной особенностью группы российских обследуемых в исходном состоянии является значительная доля функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5) на

фоне снижения частоты функционального класса "Норма" (ФК1). Если в процессе психической нагрузки в группах китайских и иранских специалистов наблюдается выраженное снижение частоты функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) и выраженный рост частоты функционального класса "Психическое напряжение" (особенно ярко эта динамика регистрируется в группе китайских специалистов), то в группе российских обследуемых значимо снизилась лишь доля функционального класса "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), при этом доля ФК4 и ФК5 значимо не изменилась. Во время выполнения ответственного задания в сравнении с другими группами доля ФК5 была наименьшей, а доля ФК4 наибольшей именно в группе российских обследуемых. Единственно лишь в группе российских обследуемых в процессе психической нагрузки суммарная доля функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) была выше относительной частоты функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5). В группе российских специалистов степень выраженности ФК5 на этом этапе была значимо меньше, чем в других группах. Это позволяет сделать вывод о более низкой концентрации усилий на задаче (ФК5) и высокой доли невротического эмоционального возбуждения (ФК4) в процессе психической нагрузки в группе российских специалистов. После завершения задачи доля невротического эмоционального возбуждения (ФК4) сохраняется стабильно высокой.

В чем могут быть причины такой повышенной психической напряженности в исходном состоянии и невротического эмоционального возбуждения в процессе психической нагрузки и на стадии восстановления? Здесь необходимо отметить, что обследуемые российской группы проходили профессиональный отбор в конце 90-х годов прошлого столетия, когда страна переживала крайне непростой экономический и политический период. Мы полагаем, что внешняя негативная социально-экономическая ситуация и могла спровоцировать рост частоты функциональных состояний напряженности и невротичности, который мы наблюдали у обследуемых данной группы. Для проверки этой гипотезы необходимы дополнительные исследования.

Динамика функциональных классов в группе иранских специалистов в целом совпадает с динамикой, которая была установлена для группы китайских обследуемых, но имеет существенные различия. Так в исходном состоянии в группе иранских обследуемых диагностировалась значительно более высокая частота функционального класса "Эмоциональное возбуждение с преобладанием активности симпатического отдела ВНС" (ФК4), что указывает на повышенную невротичность в ситуации ожидания выполнения ответственного задания. В процессе психической нагрузки, как и в группе китайских

обследуемых, также отмечается снижении доли функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) и рост частоты функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5), но эти изменения были менее выраженные. Относительная частота ФК3 и ФК4 в группе иранских обследуемых была значимо выше, чем в группе китайских обследуемых, а доля функционального класса "Психическое напряжение" (ФК5) была меньше, на уровне тенденции, в сравнении с группой китайских обследуемых. Характерно, что эффективность выполнения тестового задания (скорость и безошибочность) была ниже в группе иранских обследуемых в сравнении с группой китайских специалистов. На стадии восстановления частота функциональных классов в группе иранских обследуемых значимо не различалась с частотой функциональных классов в группе российских обследуемых. В сравнении с группой китайских обследуемых в группе иранских специалистов на этой стадии наблюдалась повышенная невротичность: более высокая частота ФК4 и более низкая частота ФК3. Таким образом, для группы иранских обследуемых характерна повышенная частота функциональных состояний с невротической симптоматикой на стадии ожидания ответственного задания и после его выполнения, с сохранением значительной доли функциональных классов эмоционального возбуждения в процессе психической нагрузки (что ухудшало концентрацию усилий и снижало эффективность выполнения).

Заключение

Анализ динамики функциональных классов, диагностированных с помощью трехфакторной модели ВСП на различных стадиях исследования, подтвердил наши предположения о доминировании в ситуации ожидания выполнения ответственного задания и после его завершения функциональных состояний эмоционального возбуждения (Машин, 2007с), и преобладании функциональных состояний психического напряжения в процессе выполнения ответственного задания (Машин, 2007а, 2007б).

Использование трехфакторную модель ВСП для диагностики функциональных классов при воздействии психических и эмоциональных нагрузок в группах российских, иранских и китайских обследуемых позволило выделить следующие кросс-культурные различия. В группе китайских обследуемых наблюдается яркая динамика функциональных классов, характерная для воздействия значимой психической нагрузки. Выраженная частота функциональных классов эмоционального возбуждения на стадии ожидания (мобилизационный эффект) сменяется выраженным ростом частоты функционального класса "Психическое напряжение" (высокая концентрация усилий на задаче). Окончание психической нагрузки сопровождается вновь значительным ростом частоты

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

функциональных классов эмоционального возбуждения (переживания по поводу успешности выполнения ответственного задания). Высокая концентрация усилий на задаче результируется в высокой эффективности действий обследуемых. Значительная доля функциональных состояний, связанных с психическим утомлением, объясняется копинг-стратегией, характерной для этой группы в ситуации интенсивного обучения: приверженность групповым ценностям, которые определяют высокую мотивацию достижения, стремление соответствовать высоким групповым стандартам и требованиям. Для группы российских обследуемых характерна повышенная напряженность в исходном состоянии и невротическое эмоциональное возбуждение в процессе психической нагрузки и на стадии восстановления. Возможная причина – крайне непростая внешняя социально-экономическая ситуация конца 90-х годов, на фоне которой они проходили профессиональный отбор. Группа иранских обследуемых характеризуется повышенной частотой функциональных состояний с невротической симптоматикой в исходном состоянии и на стадии восстановления, с сохранением значительной доли функциональных классов эмоционального возбуждения в процессе психической нагрузки (что ухудшает концентрацию усилий и может снижать эффективность действий). Данная группа отличалась значительным процентом отсева кандидатов в процессе профессионального отбора на оперативные должности.

В заключение заметим, что выполненное нами кросс-культурное исследование демонстрирует широкие возможности использования трехфакторной модели ВСП для анализа динамики функциональных классов человека при воздействии психических и эмоциональных нагрузок.

Список литературы

1. Баевский. Р.М., Барсукова Ж.В., Берсенева А.П., Тазетдинов И.Г., Кирилов О.И. Оценка функционального состояния организма на основе математического анализа сердечного ритма. Методические рекомендации. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988.
2. Вейн А.М. Краткий анатомо-физиологический очерк // Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение. / ред. А.М. Вейн. М.: МИА, 2003. С. 14-43.
3. Ллойд Э., Ледерман У., Тюрин Ю.Н. (Ред.) Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1. Финансы и статистика, М. 1989.
4. Машин В.А. Анализ вариабельности сердечного ритма с помощью метода графа // Физиология человека, 2002. Т. 28, № 4. С. 63-73.
5. Машин В.А., Машина М.Н. Факторный анализ показателей графа сердечного ритма для диагностики различных функциональных состояний и оценки стрессоустойчивости //

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности. Том 1. ОНИЦ "Прогноз", 2002. С. 82-88.

6. Машин В.А., Машина М.Н. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма // Физиол. журн. им. И. М. Сеченова, 2004. Т. 90, № 12. С. 1508-1521.

7. Машин В.А. Связь тангенса угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма с периодической и нелинейной динамикой ритма сердца на коротких стационарных отрезках // Биофизика, 2006. Т. 51, № 3. С. 534-538.

8. Машин В.А. Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления // Вопросы психологии, 2007а. № 6. С. 86-96.

9. Машин В.А. Трехфакторная модель variability сердечного ритма. Часть 1: Исследование психических нагрузок при моделировании операторской деятельности // Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности. Том. 3. ИГ-СОЦИН, 2007б. С. 181-189.

10. Машин В.А. Трехфакторная модель variability сердечного ритма. Часть 2: Исследование тревожных состояний при моделировании операторской деятельности // Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности. Том. 3. ИГ-СОЦИН, 2007с. С. 190-198.

11. Степура О.Б., Томаева Ф.Э., Гаджиев А.Н., Иванова С.В. Variability сердечного ритма при хронической сердечной недостаточности (По материалам XIX-XXII конгрессов европейского общества кардиологов) // Российский кардиологический журнал, 2001. Т. 2, № 28. С. 59-67.

12. Baranski J.V., Petrusic W.M. Realism of confidence in sensory // Perception & Psychophysics, 1999. V. 61. P. 1369-1383.

13. Barrett L.F., Lindquist K.A., Gendron M. Language as context for the perception of emotion// Trends in Cognitive Sciences, 2007. V. 11. P. 327-332.

14. Campbell J.I.D., Xue Q. Cognitive arithmetic across cultures // Journal of Experimental Psychology: General, 2001. V. 130. P. 299-315.

15. Cantlon J.F., Brannon E.M. Adding up the effects of cultural experience on the brain // Trends in Cognitive Science, 2007. V. 11. P. 1-4.

16. Coumel P., Maison-Blanche P., Catuli D. Heart Rate and Heart Rate Variability // Heart Rate Variability /ed. M. Malik, A.J. Camm. Armonk, NY: Futura, 1995. P. 207-222.

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

17. Gellhorn E. Conditioning, sensations, and the ergotropic-trophotropic balance // Integrative Psychological and Behavioral Science, 1968. V. 3, No 1. P. 34-44.
18. Gellhorn E. The emotions and the ergotropic and trophotropic systems // Psychological Research, 1970. V. 34, No 1. P. 48-66.
19. Goldberger J.J. Sympathovagal balance: how should we measure it? // Am J Physiol., 1999. V. 276, No 4 (Pt 2). P. H1273-1280.
20. Haun D.B.M., Rapold C.J., Call J., Janzen G., Levinson S. Cognitive cladistics and cultural override in Hominid spatial cognition // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006. V. 103. P. 17568-17573.
21. Hess W. The central control of the activity of internal organs // Nobel lectures. Physiology or medicine 1942-1962. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964. P. 243-260.
22. Houtveen J.H., Rietveld S., de Geus E.J. Contribution of tonic vagal modulation of heart rate, central respiratory drive, respiratory depth, and respiratory frequency to respiratory sinus arrhythmia during mental stress and physical exercise // Psychophysiology, 2002. V. 39, No 4. P. 427-436.
23. Hsee C.K., Weber E.U. Cross-national differences in risk preference and lay predictions // Journal of Behavioral Decision Making, 1999. V. 12. P. 165-179.
24. Kobayashi C., Glover G.H., Temple E. Cultural and linguistic influence on neuronal bases of "Theory of Mind": An fMRI study with Japanese bilinguals // Brain and Language, 2006. V. 98. P. 210-222.
25. Kobayashi C., Glover G.H., Temple E. Cultural and linguistic effects on neural bases of 'Theory of Mind' in American and Japanese children // Brain Research, 2007. V. 1164. P. 95-107.
26. Murakawa Y., Ajiki K., Usui M., Yamashita T., Oikawa N., Inoue H. Parasympathetic activity is a major modulator of the circadian variability of heart rate in healthy subjects and in patients with coronary artery disease or diabetes mellitus // Am Heart J., 1993. V. 126, No 1. P. 108-114.
27. Niles F.S. Cultural differences in learning motivation and learning strategies: a comparison of overseas and Australian students at the Australian university // Int. J. Intercultural Rel., 1995. V. 19. P. 369-385.
28. Tang Y., Zhang W., Chen K., Feng Sh., Shen J., Reiman E.M. Arithmetic processing in the brain shaped by cultures // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006. V. 103. P. 10775-10780.
29. Thayer J.F., Johnsen B.H. Autonomic Nervous System Activity and Its Relationship to Attention and Working Memory // Monitoring Metabolic Status: Predicting Decrements in

Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010. №2. С. 5-21.

Physiological and Cognitive Performance. Washington, D.C.: National Academies Press, 2004. P. 366-371.

30. Winawer J., Witthoft N., Frank M.C., Wu L., Wade A.R., Boroditsky L. Russian blues reveal effects of language on color discrimination // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007. V. 104. P. 7780-7785.

31. Yates J.F., Lee J-W., Shinotsuka H. Beliefs about overconfidence, including its cross-national variation // Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1996. V. 65. P. 138-147.

Cross-cultural study of the functional states dynamics during mental and emotion workload

V. A. Mashin

Novovoronezh Training Centre,
396072 Russia, Novovoronezh, Voronezh region, NV TC. E-mail: utc@vmail.ru

Resume

By means of three-factor model of heart rate variability the dynamics of functional classes was analyzed in homogeneous groups of Russian (N=169, mean age = 24.7, SD = 2.20 years), Iranian (N=150, mean age = 25.9, SD = 2.15 years) and China (N=104, mean age = 25.0, SD = 2.07 years) healthy male subjects. The functional classes were investigated during professional selection of atomic station operators. ECG recordings were made before task (emotional impact of forthcoming test), during mental task (mental impact of workload) and recovery (emotional impact of test results). The classification of functional classes in terms of three-factor model of heart rate variability was presented. The differences of the dynamics of functional classes in groups on three periods were described. The specific features of the dynamics of emotional arousal functional classes and mental strain functional classes were attended.

Key words: cross-cultural study, functional state, mental and emotion workload, heart rate variability.

Машин -
Владимир
Анатольевич

начальник лаборатории психофизиологического обеспечения
Нововоронежского Учебно-тренировочного центра подготовки
специалистов для АЭС, кандидат психологических наук.

факс (8)-073-64-212-44
раб. тел. (8)-073-64-354-31
E-mail utc@vmail.ru

E-mail mashin@vmail.ru