

Контроль изменения функционального состояния человека в течение длительного времени. Виброизображение – возможный инструмент для хронобиологических исследований

В.А. Минкин, Е.Г. Лобанова, О.А. Бланк, М.А. Бланк

Введение

В настоящее время развитие биометрических технологий открывает новые возможности проведения хронобиологических исследований функционального состояния человека и разработки новых методов контроля психофизиологического (психосоматического, эмоционального) состояния. Исследование временных зависимостей функционального состояния человека необходимо для повышения информативности конвенциональных методов диагностики в медицине [1]. Знания о нормальной временной организации здорового человека могут быть использованы для контроля функционального состояния лиц, обеспечивающих безопасность жизни многих людей (например, диспетчеры на объектах транспортной инфраструктуры или операторы опасных производств), с целью предотвращения техногенных катастроф [2]. Организация подготовки спортсменов, учитывающая их биоритмологические характеристики, способствует улучшению спортивных результатов [3, 4]. Хронобиологические подходы нашли своё место во многих отраслях медицины, биологии и практической жизни [4, 5, 6]. Основой хронобиологических исследований является измерение временных зависимостей физиологических параметров человека, таких как частота сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (ВСР), артериальное давление (АД), кожно-гальваническая реакция (КГР). Однако для большинства таких методов необходимо контактное измерение перечисленных параметров, которое, во-первых, не удобно для испытуемых, а во-вторых, создаёт дополнительные погрешности в месте контакта, что особенно сказывается при проведении длительных измерений и исследований. Разработанные относительно недавно метод и технология виброизображения [7] позволяют получать информацию о функциональном состоянии человека бесконтактно и являются предпочтительными при проведении длительных исследований.

Метод виброизображения

Известно, что жизнедеятельность человека и любого живого объекта связана с целым рядом периодических процессов различающихся по своим частотным характеристикам. Эти периодичности распространяются на такие физиологические процессы как частота сердечных сокращений, температура тела, артериальное давление, тканевое дыхание, митотическая активность различных тканей и многие другие процессы, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность организма [4]. Интенсивность протекания физиологических процессов связана с состоянием организма. Например, когда здоровый человек спокоен и отдыхает, частота сердечных сокращений и дыхания минимальна, а когда человек возбуждён, у него учащаются пульс и дыхание. Асинхронные периодические процессы характеризуются двумя основными параметрами – частотой и амплитудой. Следовательно, если удастся получить полное динамическое изображение человека, характеризующееся частотой и амплитудой движения каждой его

точки, то это изображение должно информативно характеризовать психофизиологическое состояние человека на определенный момент времени, так как все основные физиологические процессы, протекающие в человеке, имеют определённую корреляцию между собой. Метод виброизображения позволяет бесконтактно измерять двигательную активность (характеристики микродвижений) и преобразовывать характеристики микродвижений в психофизиологические параметры, характеризующие функциональное состояние человека [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Известно, что вестибулярная система связана со всеми другими функциональными системами человеческого организма [13] и оперативно реагирует на любое механическое, болевое или эмоциональное изменение. При этом вестибулярно-эмоциональный рефлекс осуществляет рефлекторное изменение микродвижений головы человека, находящейся в вертикальном свободном состоянии за счёт сокращения мышц, обеспечивающих поддержку головы в опорно-двигательной системе [10]. Поскольку анатомическое строение всех человеческих особей примерно одинаково, то реакция вестибулярной системы на локальное изменение состояния является также одинаковой в типовых ситуациях. Несмотря на общеизвестность приведенных рассуждений [10,14,15] и на широкое использование данной методики в технологиях безопасности, автоматическая диагностика функционального состояния по анализу биомеханических микродвижений до настоящего времени ещё не применяется достаточно широко, возможно, из-за определенного консерватизма мышления.

В данной статье авторы исследуют функциональное состояние человека, прибегнув для этого к более точным оценкам рефлекторных микродвижений головы, используя для оценки состояния человека не только математическое ожидание параметров микродвижений, но и их вариабельность, т.е. отношение среднеквадратического отношения параметра к его математическому ожиданию. Ранее вариабельность биологических параметров использовали, прежде всего, при анализе сердечного ритма [16] для выявления патологии сердечно-сосудистой системы и изучения резервных возможностей организма. Наиболее известный исследователь резервов организма и автор одной из самых совершенных методик экспресс анализа биологических ритмов Р.М. Баевский утверждал [17], что ежегодно публикуется несколько сотен работ, посвящённых различным аспектам анализа вариабельности сердечного ритма. Интегральная диагностическая информативность параметров сердечного ритма существенно отличается от информативности биоритмов и вестибулограмм, формируемых вестибулярным аппаратом, так как сердечный ритм является первичным задающим ритмом в организме человека, в то время как ритм вестибулярной системы является вторичным, его функционирование в основном определяется работой других функциональных систем человека.

Двигательная активность человека – один из основных параметров, определяющих его функциональное состояние. По сути, именно двигательная активность, обеспечивающая трудоспособность и возможность обслуживать себя без посторонней помощи, лежит в основе шкалы Карновского и шкалы ВОЗ, конвенционально применяемых для оценки общего состояния пациентов. Таким образом, традиционно доля времени бодрствования, в течение которого человек может производить осознанные продуктивные «макродвижения» (труд, самообслуживание, активный досуг), и определяет тяжесть его соматического состояния. Изучение двигательной активности онкологических

больных также ограничено регистрацией объёма и продолжительности осознанных макродвижений, регистрируемых шагомером или акселерометром, с исключением из анализа произвольных микродвижений как артефактов [18].

Метод виброизображения позволяет регистрировать 10 основных независимых психофизиологических параметров, имеющих минимальную корреляцию между собой и максимально полно характеризующих трёхмерное движение головы человека. Из этих 10 параметров путём математической обработки определяется единый коэффициент, характеризующий функциональное состояние человека. Измерение параметров микродвижения осуществлялось системой виброизображения, включающей в себя стандартную телевизионную камеру с низким уровнем временных шумов и персональный компьютер, на котором установлено программное обеспечение Vibraimage 8.1 [19]. Обработка полученных при измерении данных осуществлялась специализированной программой VibraStat [20].

Программное обеспечение VibraStat

Целью применения программы является нахождение статистически достоверных зависимостей (прежде всего временных) и изменений функционального состояния между двумя (и более) группами измерений в полученных результатах исследований. Наличие статистических установленных различий в параметрах виброизображения свидетельствует о функциональных, биологических, психологических или физиологических изменениях, характерных для указанных групп. Исходными данными для расчета являются файлы формата «*_measurement.xml», где * – это время и дата измерений, полученные с использованием программы VibraImage 8.1 [19] в режиме «М». В процессе анализа мы используем математическое ожидание M , среднее квадратическое отклонение (СКО) S и вариабельность V следующих психофизиологических параметров человека:

T_1 – параметр Агрессия; T_2 – параметр Стресс; T_3 – параметр Тревожность; T_4 – параметр Опасность; T_5 – параметр Уравновешенность; T_6 – параметр Харизматичность (Шарм); T_7 – параметр Энергичность; T_8 – параметр Саморегуляция; T_9 – параметр Торможения; T_{10} – параметр Невротизм.

Перечисленным параметрам нами были присвоены условные названия, соответствующие различным эмоциональным состояниям человека. Не следует воспринимать их буквально, поскольку они отражают физиологию рефлекторных пространственных микродвижений головы человека и рассчитываются по определенным формулам. Каждая из этих формул вычисления параметров $T_1 - T_{10}$ отвечает за характеристику своей области микродвижений для того, чтобы вместе наиболее полно отражать все свойства, энергетику движений и особенности протекающих во время исследования в организме функциональных процессов.

Совокупность параметров $T_1 - T_{10}$ выбрана таким образом, чтобы с максимальной информативностью регистрировать все микродвижения головы человека. При этом, название каждого параметра T_i может характеризовать различные психофизиологические характеристики в зависимости от применения системы виброизображения. Первичным для характеристики каждого параметра является не его название, а формула, по которой этот параметр определяется.

Формулы расчета параметров $T_1 - T_{10}$ приведены ниже (1-10) [20].

Параметр T_1 :

$$T_1 = \frac{F_m + 4 * \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}}{2F_{in}}, \quad (1)$$

где F_m – частота максимума в гистограмме плотности распределения частот; F_i – количество отсчетов с i -той частотой в гистограмме плотности распределения частоты, полученное за время N кадров; F_{in} – частота обработки виброизображения; n – число отсчетов с межкадровой разностью выше пороговой в N кадрах.

Параметр T_2 :

$$T_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|A_L^i - A_R^i|}{A_{max}^i} + \frac{|F_L^i - F_R^i|}{F_{max}^i} \right)}{2n}, \quad (2)$$

где A_L^i – суммарная амплитуда виброизображения i -той строки левой части объекта; A_R^i – суммарная амплитуда виброизображения i -той строки правой части объекта; A_{max}^i – максимальное значение между A_L^i и A_R^i ; F_L^i – максимальная частота виброизображения i -той строки левой части объекта; F_R^i – максимальная частота виброизображения i -той строки правой части объекта; F_{max}^i – максимальное значение между F_L^i и F_R^i ; n – число строк, занимаемое объектом.

Параметр T_3 :

$$T_3 = \frac{\sum_{f=0,1}^{f_{max}} P_i(f)}{\sum_{f=0,1}^{f_{max}} P_i(f)}, \quad (3)$$

$P_i(f)$ – спектральная мощность распределения частоты виброизображения; f_{max} – максимальная частота в спектре распределения частоты виброизображения.

Параметр T_4 :

$$T_4 = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}. \quad (4)$$

Параметр T_5 :

$$T_5 = \frac{\sum [y(x) * K - y'(x)]^2}{\sum [y'(x)]^2}, \quad (5)$$

где K – коэффициент нормирования получаемой частотной гистограммы (5.1):

$$K = \frac{\sum y'(x)}{\sum y(x)}; \quad (5.1)$$

y' – плотность нормального распределения, рассчитываемая по формуле (5.2):

$$y' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}. \quad (5.2)$$

Параметр T_6 :

$$T_6 = \frac{\sum \frac{|W_{li} - W_{ri}|}{\max(W_{li}, W_{ri})} + \sum \frac{|C_{li} - C_{ri}|}{255}}{N}, \quad (6)$$

W_{li}, W_{ri} – средние значения амплитуды с левой и правой сторон соответственно внешнего виброизображения для каждой строки; C_{li}, C_{ri} – разность максимальных значений частоты с левой и правой сторон соответственно внешнего виброизображения для каждой строки.

Параметр T_7 :

$$T_7 = \frac{M - \sigma}{Fps} \quad (7)$$

M – значение максимума на частотной гистограмме; σ – среднеквадратическое отклонение, определенное по частотной гистограмме; Fps – максимальная частота ввода виброизображения.

Параметр T_8 :

$$T_8 = \frac{T_5 + T_6}{2}. \quad (8)$$

Параметр T_9 :

$$T_9 = T_m(F_1). \quad (9)$$

T_9 определяют как среднее значение периода параметра F_1 , полученное за число кадров, установленное в настройках F6N [16].

Параметр T_{10} :

$$T_{10} = 10 * \sigma(T_9). \quad (10)$$

где $\sigma(T_9)$ – СКО значения параметра T_9 .

Интегральный параметр K , характеризующий общее функциональное состояние человека, определяемый на основе параметров $T_1 - T_{10}$ вычисляют по формуле 11:

$$K = \sum_{i=1}^{10} (T_i - T_n). \quad (11)$$

где K – интегральный показатель общего функционального состояния (ИПФС); T_i – измеренное значение математической оценки (M, S, V) перечисленных параметров; T_n – среднее значение математической оценки (M, S, V) i -го параметра в выборке.

Таким образом определялись три интегральных показателя K функционального состояния (ИПФС), первый K_M вычисляется на основе измеренных значений математического ожидания (M) параметров $T_1 - T_{10}$, второй K_S – на основе

среднеквадратического отклонения параметров (S), третий K_V – на основе вариабельности параметров (V).

Эксперимент

Эксперимент по измерению параметров, характеризующих функциональное состояние человека, с помощью системы виброизображения проводился в течение 6 месяцев с 28.06.2014 г. по 26.12.2014 г. Объект исследования – человек женского пола, возраста 23 года – измерял при помощи системы Vibraimage 8.1 [19] параметры своего психофизиологического состояния в будние дни в начале рабочего дня (с 10:00 до 11:00 утра) и в конце (с 17:00 до 18:00 вечера), делая для увеличения количества статистических данных и уменьшения погрешности измерений по 5 измерениям в каждый из указанных временных периодов и выбирая среднее медианное значение в качестве результата.

Схема эксперимента представлена на рисунке 1. Объект исследования – 3 в квазистационарном состоянии, сидя на стуле – 2 перед монитором персонального компьютера (частота процессора 3,1 ГГц, ОЗУ – 4 Гб) – 4, получал свое виброизображение с использованием web-камеры Genius Look 1320 (1,3 Мп) – 5. Для уменьшения фоновых засветок и шума на виброизображении за объектом располагался однотонный экран так, что голова объекта исследования полностью располагалась в площади изображения экрана.

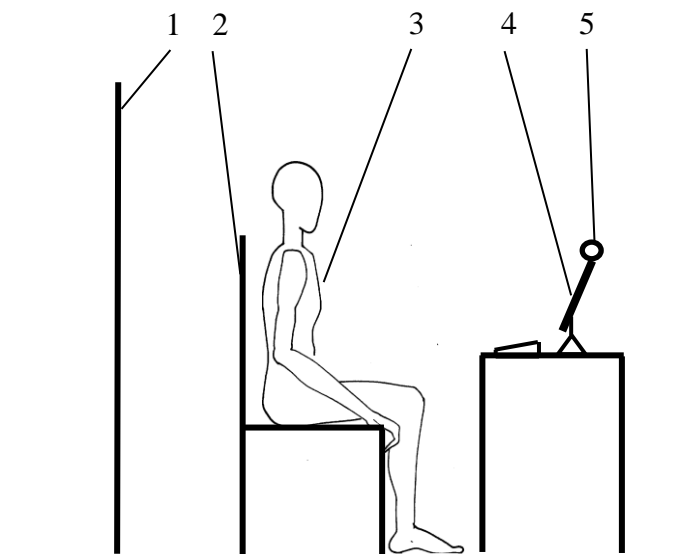


Рисунок 1. Схема эксперимента. 1 – экран, 2 – стул, 3 – объект исследования, 4 – персональный компьютер, 5 – web-камера.

Сам объект исследования отличается эмоциональным характером, нетерпеливостью, отсутствием выявленных хронических заболеваний.

Кроме файлов «*_measurement.xml» в результате работы программы VibraImage 8.1 в режиме «М» также вычисляются графические файлы в формате «*.png», необходимые для того, чтобы понять причины тех или иных изменений значений, полученных при конкретных измерениях. Например, сильные отклонения в значениях измеряемой величины могут быть связаны с изменением освещения, резкими движениями объекта, что будет видно на виброизображении, скорее всего в виде шума, то есть цветного, а не черного/белого фона. Психоэмоциональное состояние в каждом конкретном случае можно

визуально оценить по гистограмме частотного распределения виброизображения, графикам психоэнергетического состояния и виброизображению. Численные и графические результаты обобщаются в файле «*_measurement.xls», основная таблица которого представлена на рисунке 2.

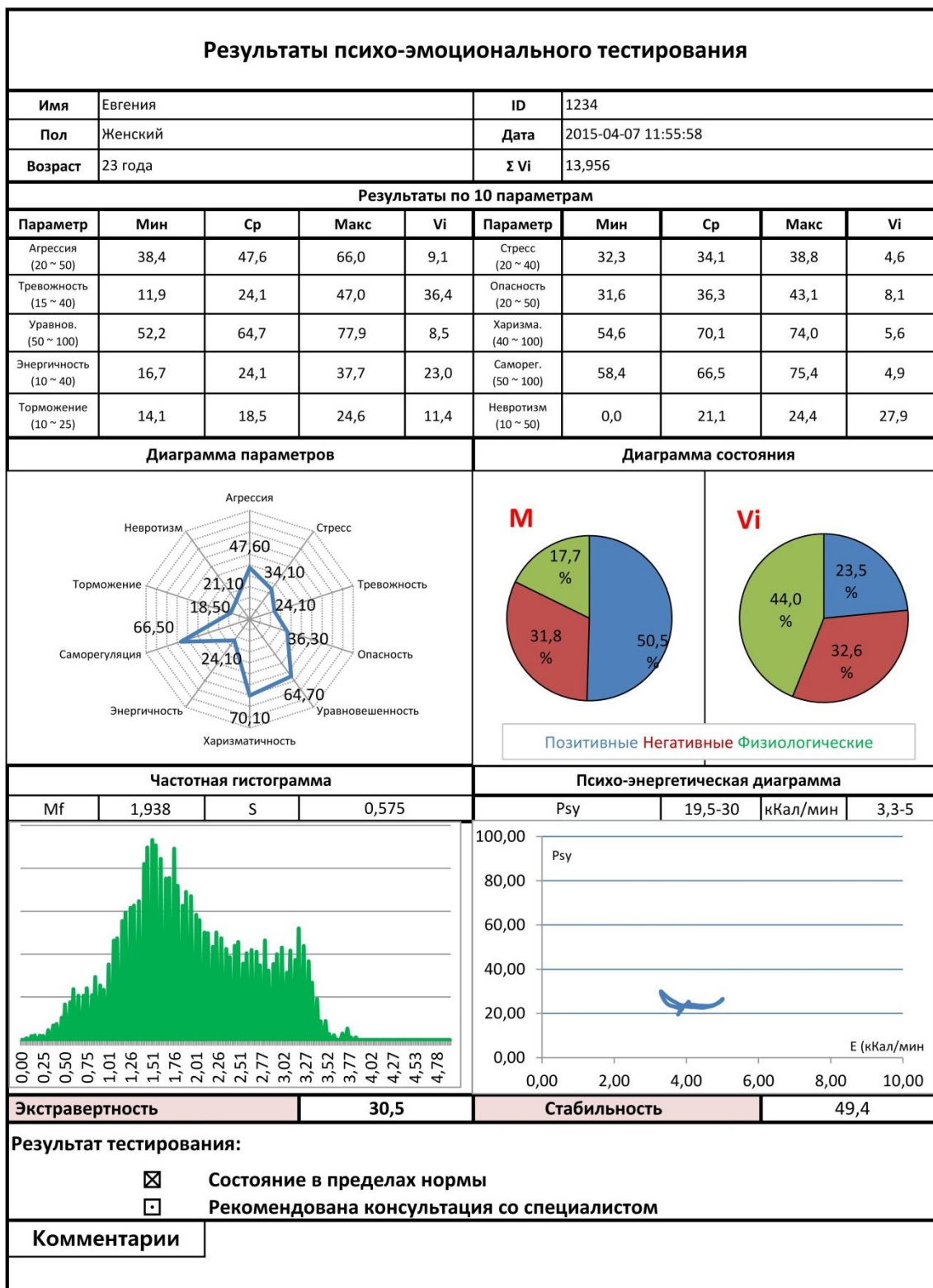


Рисунок 2. Результаты работы программы VibraImage 8.1 в режиме «М».

Полученные результаты

Результаты работы программы VibraStat – это различные графики, представленные в среде Excel. В качестве групп исследуемых результатов использовались утренние замеры – группа 1 (синий цвет на графиках) – и вечерние замеры – группа 2 (красный цвет на графиках).

Ниже приведены графики варибельности интегрального показателя общего функционального состояния (ИПФС) по датам (рис. 3) и в хронологическом порядке (рис.4) за 9 месяцев измерений.

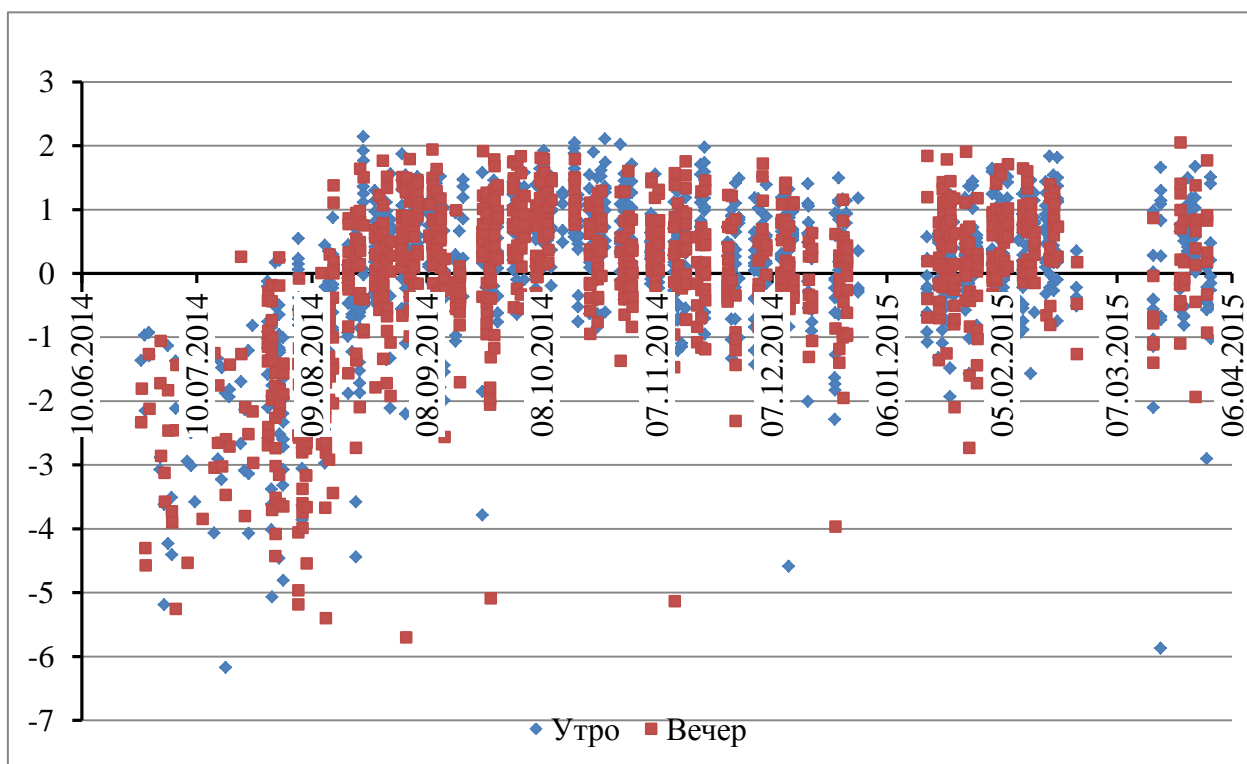


Рисунок 3. Варибельность ИПФС в утреннее и вечернее время по датам за 9 месяцев.

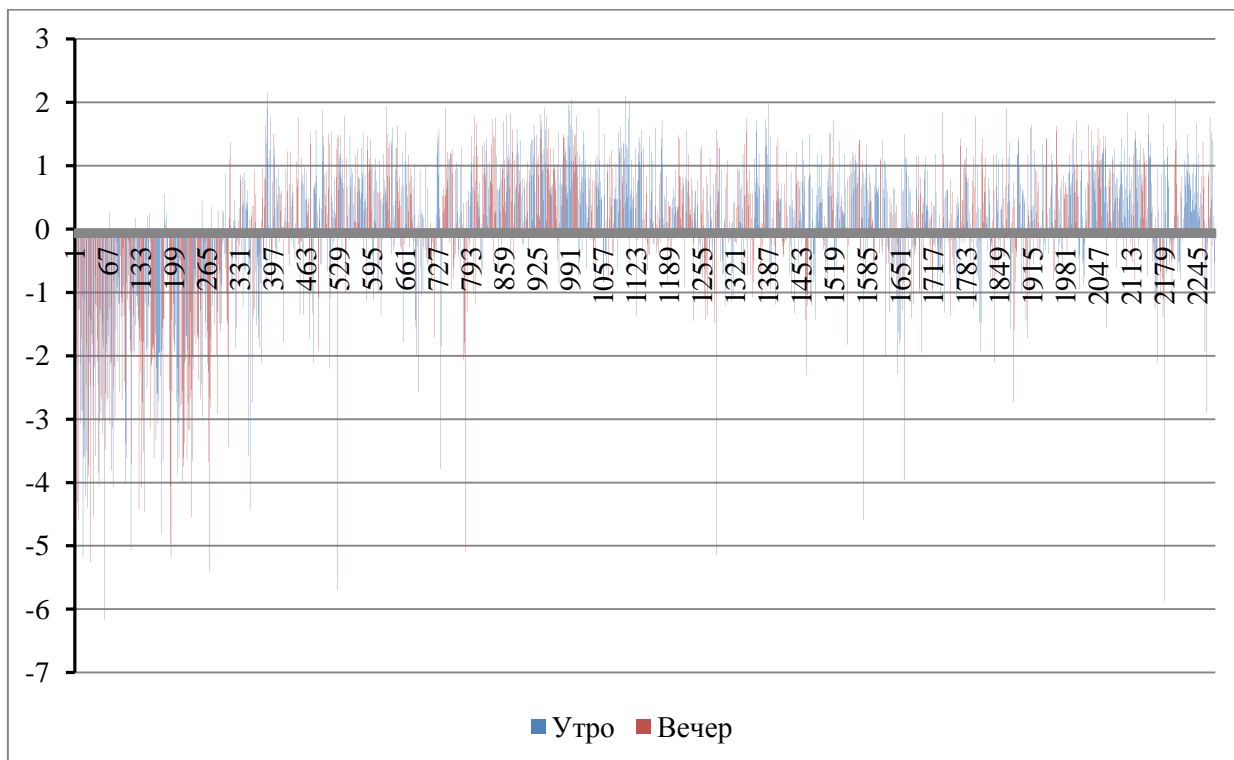


Рисунок 4. Вариабельность ИПФС в утреннее и вечернее время в хронологическом порядке за 9 месяцев.

Файл статистических результатов «stat2.xls» содержит гистограммы распределения математического ожидания параметров T_1 – T_{10} во времени в хронологическом порядке как внутри исследуемых групп (группа 1 – «Утро», группа 2 – «Вечер»), так и гистограммы распределения ИПФС (рис. 5-10).

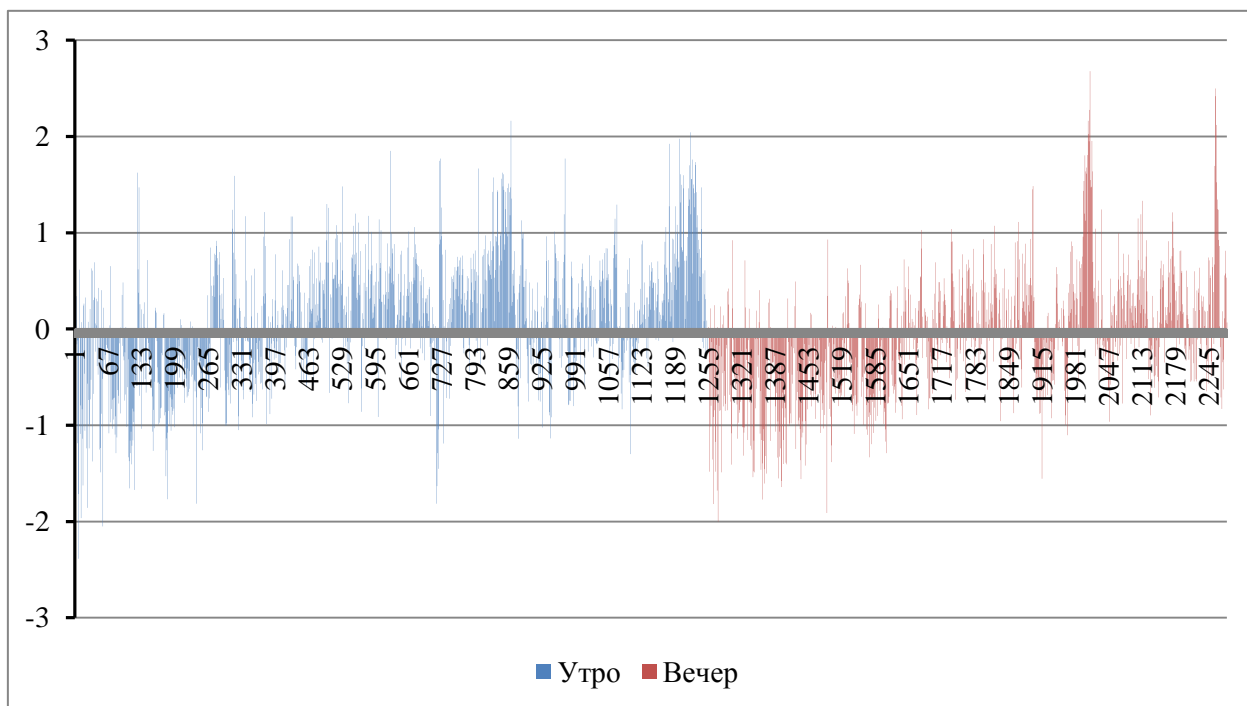


Рисунок 5. Математическое ожидание ИПФС K_M , хронологическое распределение внутри групп.

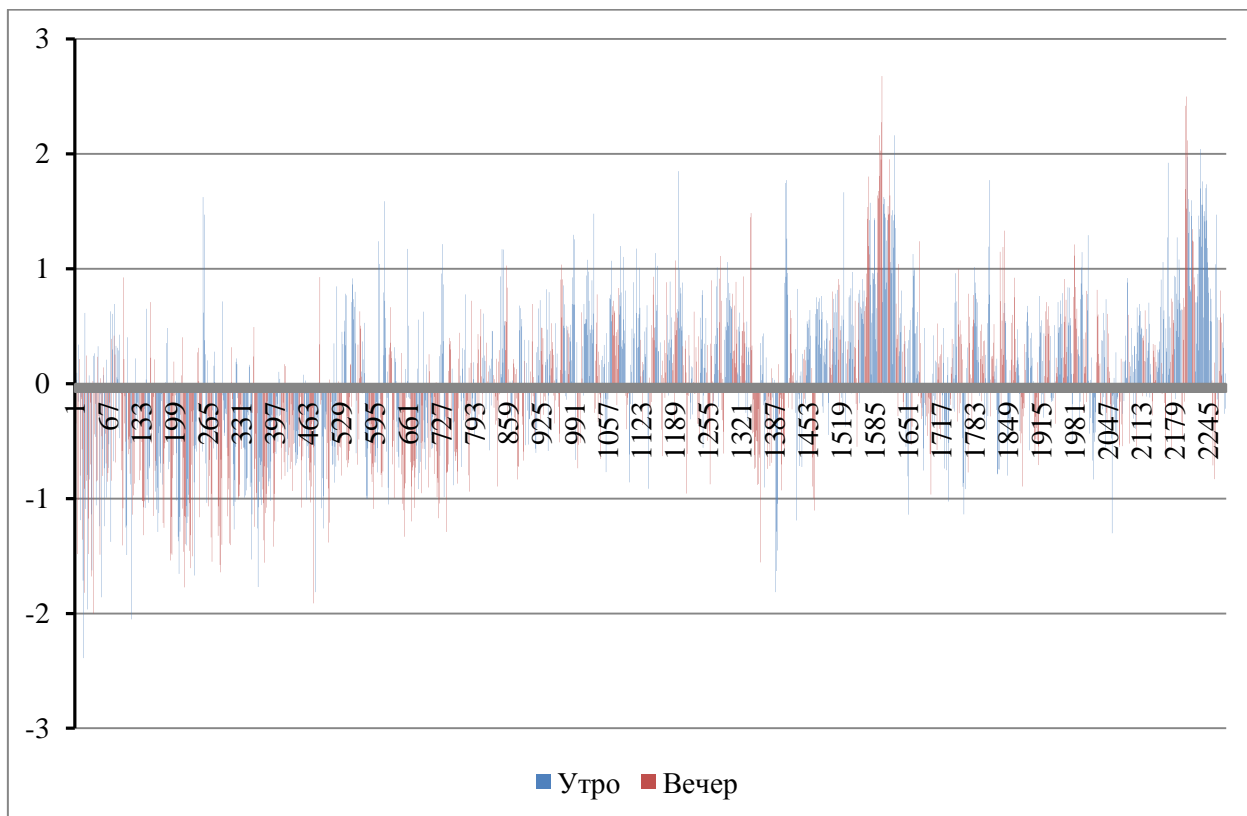


Рисунок 6. Математическое ожидание ИПФС K_M , хронологический порядок общий.

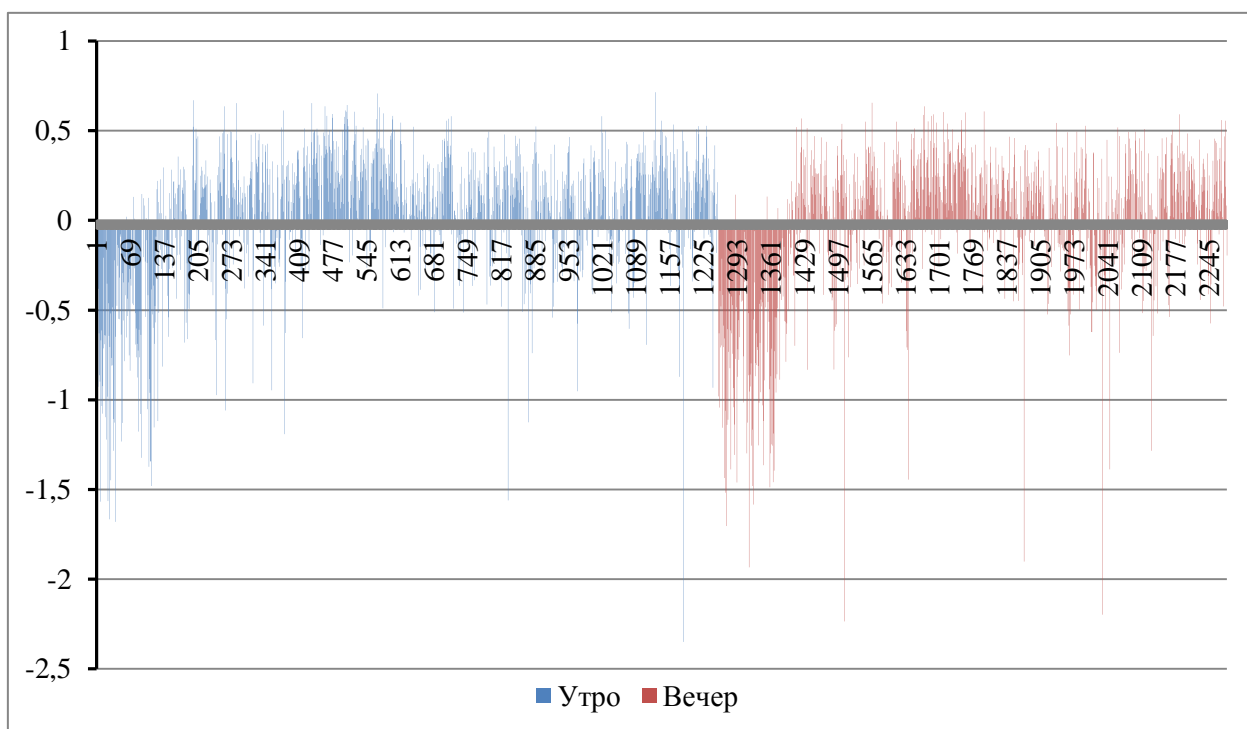


Рисунок 7. СКО ИПФС K_S , хронологическое распределение внутри групп.

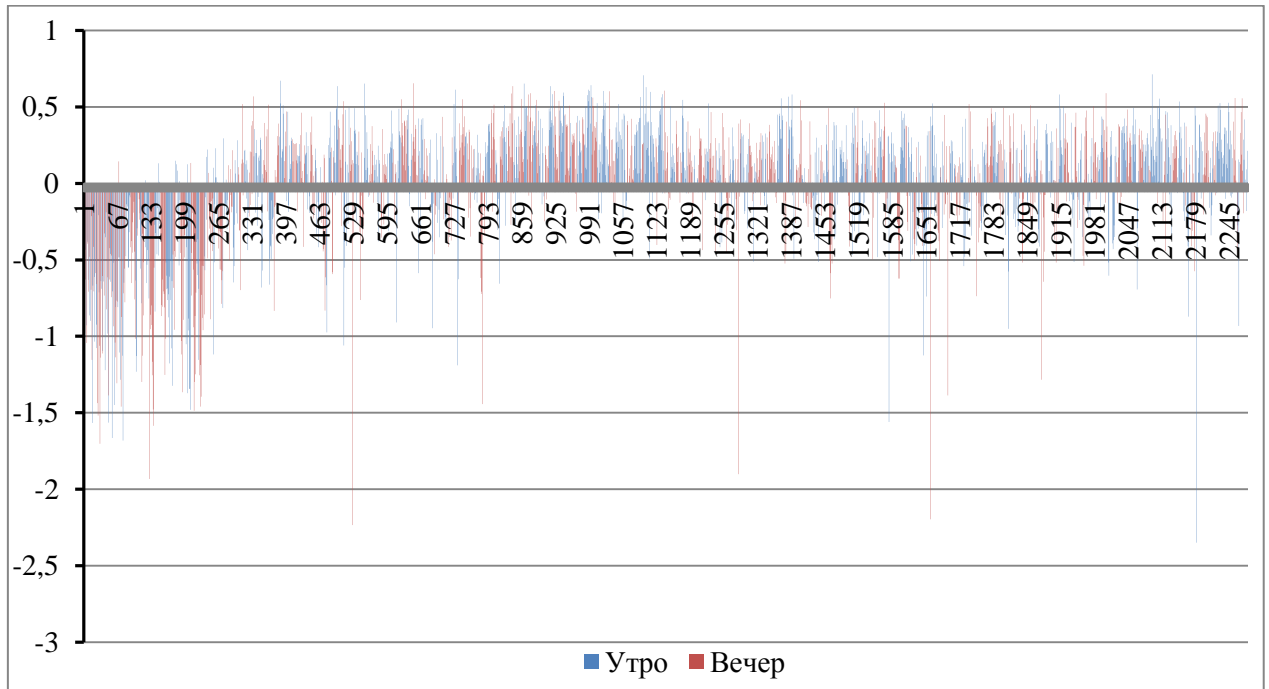


Рисунок 8. СКО ИПФС K_s , хронологический порядок общий.

Наибольший интерес представляют графики вариабельности (рис. 3, 4, 9, 10), то есть отклонения параметров относительно среднего значения всех параметров за всю выборку, что может быть приближенно взято за нормальное состояние для объекта исследования. Причем отрицательное или положительное отклонение не означает плохое или хорошее состояние человека в тот или иной момент времени, а лишь изменение его психоэмоционального состояния. Например, для очень эмоционального человека отрицательное значение вариабельности будет обозначать более спокойное состояние.

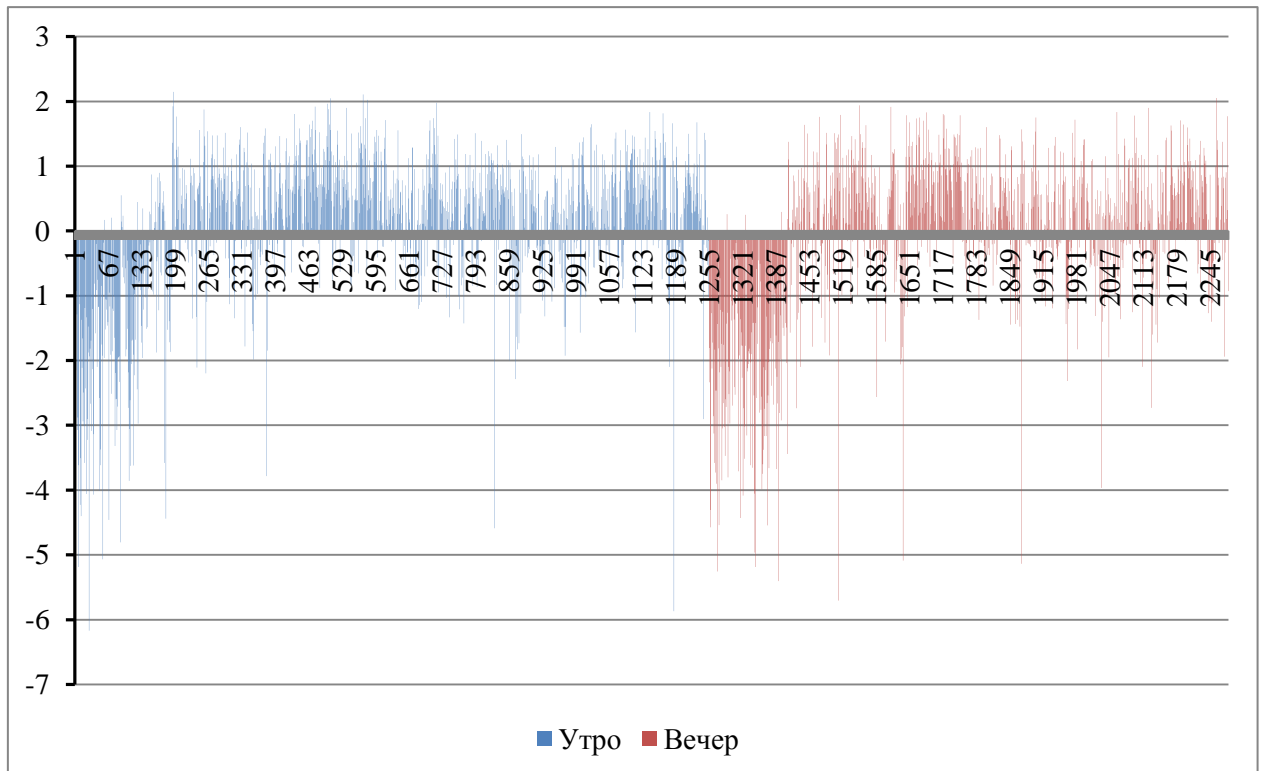


Рисунок 9. Вариабельность ИПФС K_v , хронологическое распределение внутри групп.

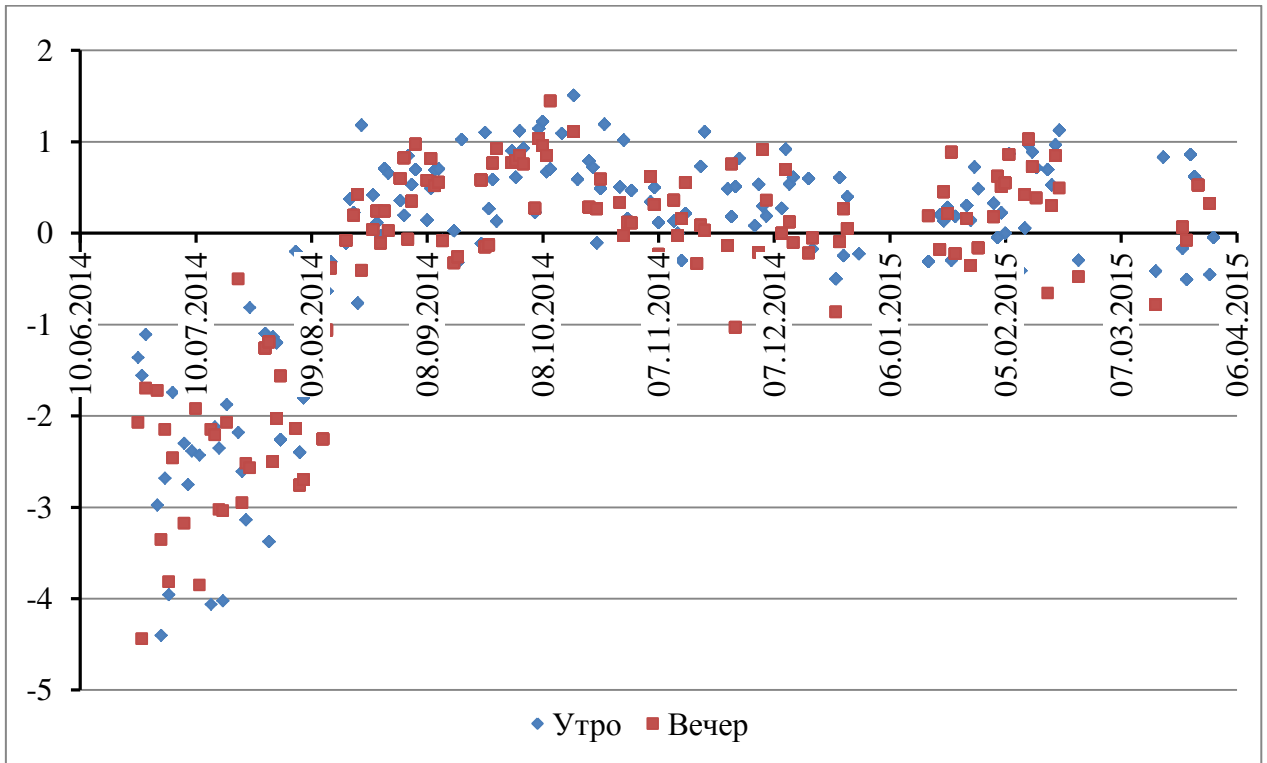


Рисунок 10. Вариабельность ИПФС K_v , усреднение по датам.

Программа VibraStat дает возможность контроля изменений не только ИПФС, но и каждого из 10 психофизиологических параметров в отдельности. На рисунке 11 приведена гистограмма распределения значений M и S для каждого параметра $T_1 - T_{10}$ в отдельности для каждой группы измерений (день (1) – вечер (2)).

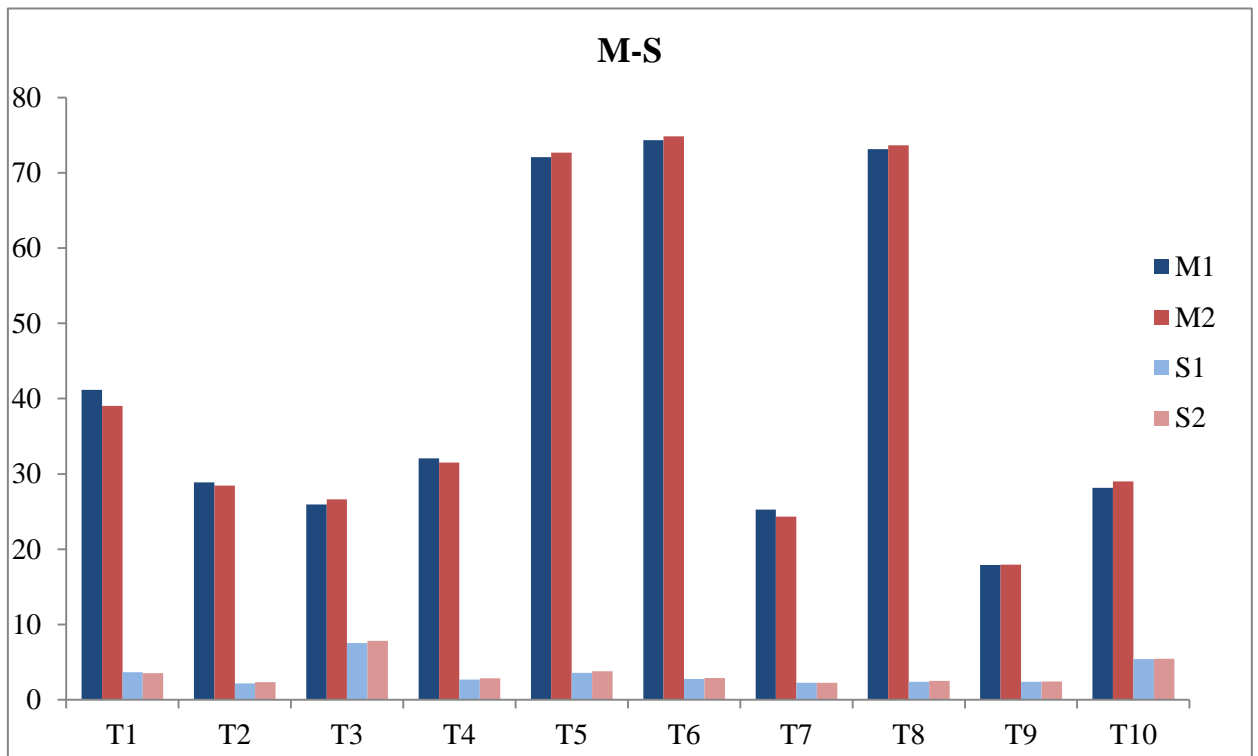


Рисунок 11. Сравнение изменений средних значений математического ожидания и СКО внутри групп по параметрам.

На рисунке 12 приводится сравнение средних значений вариабельности по параметрам в группах.

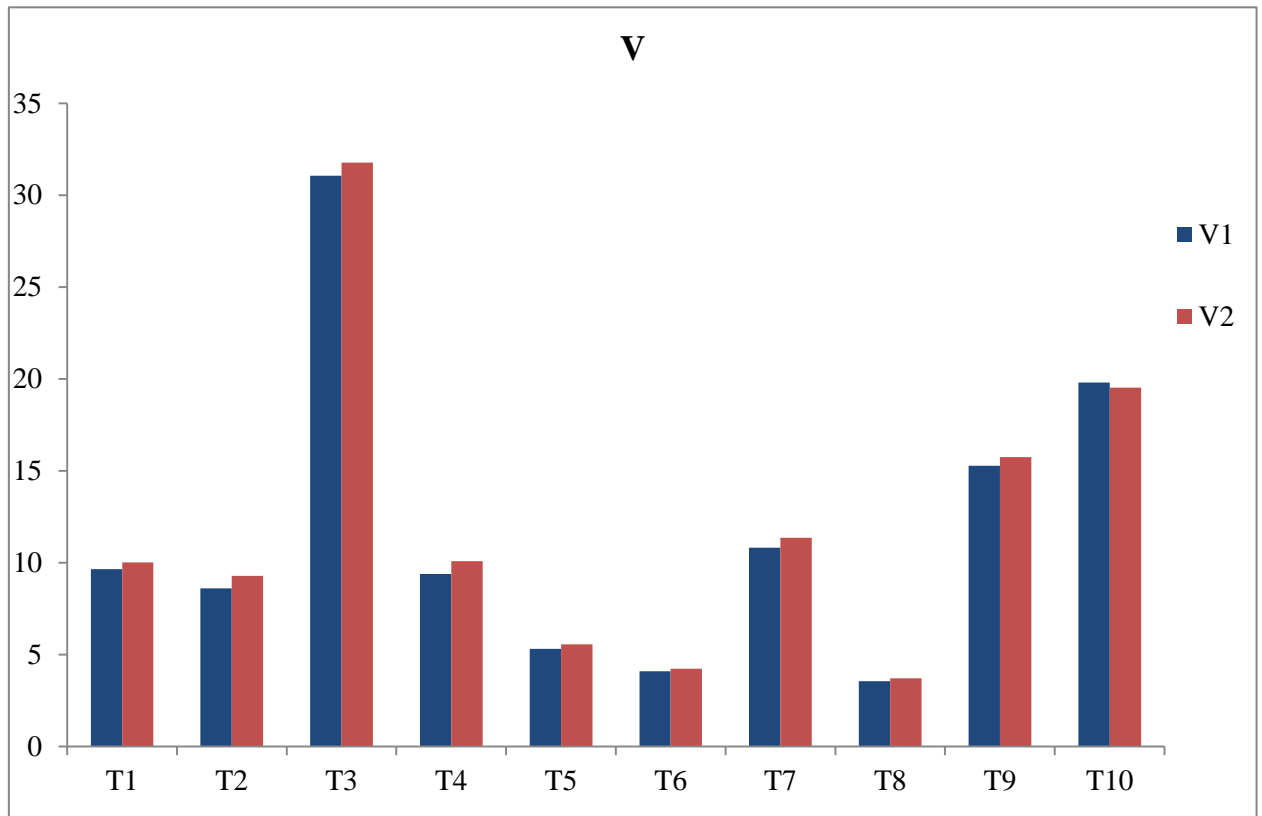


Рисунок 12. Среднее значение вариабельности по параметрам.

Анализ и дискуссия

Рассмотрим подробнее рисунки 3 – 12. Первая особенность всех графиков, которая обращает на себя внимание – отрицательные отклонения от среднего значения (при указанной обработке значение нуля ИПФС всегда является средним значением в обрабатываемой выборке) в измерениях первых месяцев (примерно до середины августа, 140-150 измерение). Причем, что интересно, более резкий переход в психоэмоциональном состоянии заметен во второй группе замеров, то есть вечером после рабочего дня. Само изменение может быть связано с длительными биологическими ритмами объекта исследования. А то, что в вечернее время граница между циклами видна более отчетливо на всех графиках M, S и V (рис. 5, 7, 9), может быть связано с усталостью, а, следовательно, и с увеличением роли подсознания в двигательной активности испытуемого.

На графиках вариабельности отчетливо можно заметить кратковременную цикличность физиологических процессов, а точнее биоритмов объекта исследования, ограниченных максимумами и минимумами, например с 658 по 711 замер на гистограмме с общим хронологическим порядком (рис. 4).

Не менее интересно сравнение изменений средних значений математического ожидания и СКО внутри групп по параметрам (рис. 11). Так СКО для всех параметров, кроме T₇ (Энергичность) в вечернее время выше, чем в утреннее, что объясняется сознательной концентрацией человека в начале рабочего дня и психотипом исследуемого

«сова». Однако математическое ожидание имеет аналогичное отношение только для параметров T_3 (Тревожность), T_5 (Уравновешенность), T_6 (Харизматичность), T_8 (Саморегуляция), T_{10} (Невротизм). Все это является свидетельством усталости объекта исследования после рабочего дня, по сравнению с утром.

Так же интересно отметить, что динамика ИПФС заметно различается в случае оценки математического ожидания и вариабельности (рис. 4 и рис. 6), а также для состояний утро-вечер, при выборе в качестве оценивающего фактора ИПФС K_M (рис. 3). Скорее всего, это вызвано тем, что оценка математического ожидания и вариабельности психофизиологических параметров имеют различную чувствительность к средне-интегральным характеристикам функционального состояния, характеризующим общую усталость организма.

Сравнительный анализ динамики изменения ИПФС и использование пространственно-временных и пространственно-частотных характеристик в качестве обобщенных характеристик [21] позволяет выявлять изменения функционального состояния с точностью [22], значительно превышающей локальное точечное измерение психофизиологических параметров.

Наглядность динамики проведенного анализа психофизиологического состояния методом виброизображения не вызывает сомнений. Однако статистическая воспроизводимость полученных данных для различных психотипов требует проведения дальнейших исследований, так как решение этой задачи не ставилось в данной работе. Проведенная работа показала, что с помощью технологии виброизображения можно отслеживать минимальные изменения психофизиологического состояния, а высокая чувствительность метода виброизображения является не только преимуществом, но и определенным недостатком метода, так как определенные психофизиологические параметры активно реагируют на субъективное изменение эмоционального и психоэмоционального состояния человека.

Выводы

1. Проведенные исследования показали возможность, эффективность и наглядность длительного контроля изменений функционального состояния человека с помощью системы виброизображения. Статистическая обработка параметров виброизображения программой ВибраСтат позволяет наглядно визуализировать динамику изменения психофизиологического состояния исследуемого человека.
2. Полученные данные о повышении вариабельности всех 9 психофизиологических параметров (T_1 - T_9), имеют высокую доверительную вероятность ($P_d=0,995$), при том, что само регистрируемое изменение значения вариабельности каждого параметра не превышает 10 % для средних значений каждой группы измерений. То, что вариабельность невротизма (T_{10}) ведет себя противоположно другим измеряемым параметрам (T_1 - T_9) только подчеркивает, что вариабельность невротизма, в отличие от всех других психофизиологических параметров, уменьшается в течение дня.
3. Диапазон дневных изменений функционального состояния исследуемого человека зависит от множества психоэмоциональных факторов, и психофизиологическая

- составляющая функциональных процессов существенно превышает влияние физиологических циклических временных процессов.
4. Полученный результат достоверного увеличения variability большинства измеренных психофизиологических параметров (T1-T9) у данного испытуемого для состояний утро-вечер представляет несомненный научный интерес. Необходимо расширение выборки испытуемых для интерпретации полученного результата, как индивидуального или общего.
 5. Проведенные исследования подтверждают возможность практического использования систем виброизображения для контроля функционального состояния операторов до выхода на смену или во время исполнения ими профессиональных обязанностей, например, пилотов, водителей, авиадиспетчеров. Регулярный персональный контроль изменения функционального состояния позволяет объективно и оперативно выявлять любые изменения функционального состояния, независимо от вызвавшей их причины, физиологической, психической или эмоциональной.

Литература.

1. М.А. Бланк, О.А. Бланк, Хрономедицина для онкологии, СПб, НИКА, 2010, 120 с.
2. Бланк М.А., Хронобиологические возможности контроля состояния человека. В сб. Техническая диагностика и надёжность атомных и тепловых электрических станций. СПб., Издательство СПбГУ, 199, СС 108-111.
3. Комаров О.М., Рапопорт С.И. Хронобиология и хрономедицина, Издательство: М.: Триада-Х, Год: 2000, Страниц: 488 с.
4. Шапошникова В.И. Научное обоснование современной системы отбора и подготовки спортсменов в олимпийском спорте (на примере футбола и хоккея) / В.И. Шапошникова, М.А. Рубин, Л.В. Михно. - М.: Советский спорт, 2013. – 68 с.
5. Агаджанян Н. А., Шабатура Н. Н. Биоритмы и спорт, здоровье. М.: Физкультура и спорт, 1989. С. 95.
6. Hastings, Michael, The brain, circadian rhythms, and clock genes. Clinical review" *BMJ* 1998;317:1704-1707 19 December.
7. Минкин В.А. и др. RU 2187904, приоритет от 19.12.2000. Способ и устройство преобразования изображения.
8. В.А.Минкин. Виброизображение. – СПб.: Реноме, 2007 г., 108 с
9. В.А.Минкин, Н.Н.Николаенко. Исследование зависимости психофизиологических характеристик человека от величины торможения вестибулярной системы методом виброизображения. Краснодар: Кубанский Научный Медицинский Вестник, N4, 2007.
10. V. A. Minkin and N. N. Nikolaenko. Application of Vibraimage Technology and System for Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body. *Biomedical Engineering*, Vol. 42, No. 4, 2008, pp. 196_200. Translated from *Meditinskaya Tekhnika*, Vol. 42, No. 4, 2008, pp. 30_34. Original article submitted March 24, 2008.

11. Минкин В.А., RU 2510238, Способ получения информации о психофизиологическом состоянии живого объекта. приоритет от 26.10.09.
12. RU 2515149, Бланк М.А., Бланк О.А., Минкин В.А., Способ скрининг-диагностики рака простаты, приоритет от 06.02.2012.
13. Тамар Г., Основы сенсорной физиологии. М., 1976. 520 с.
14. Физиология человека, под ред. В.М. Покровского и Г.Ф. Коротько, Москва, Медицина, 1997.
15. Конрад Лоренц. Агрессия. М.: Амфора, 2001.
16. Р.М. Баевский, Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М, Медицина, 1979, 298 с.
17. Р.М. Баевский и др., Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (Методические рекомендации), Вестник Аритмологии, N24, 2001.
18. A guide to assessing physical activity using accelerometry in cancer patients J. M. Broderick & J. Ryan & D. M. O'Donnell & J. Hussey. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.
19. Система контроля психоэмоционального состояния человека. Техническое описание. Версия Vibraimage 8.1. Публикации «Элсис», 01.2014, http://www.psymaker.com/downloads/VI8_1ManualRus.pdf
20. Описание программы **VibraStat** для статистической обработки и анализа психофизиологического состояния, Публикации «Элсис», 01.2014, <http://www.psymaker.com/downloads/VibraStatRus.pdf>
21. Р.И. Полонников «Основные концепции общей теории информации» Санкт-Петербург, Наука, 2006.
22. П.В. Новицкий, И.А. Зограф, Оценка погрешности результатов измерений, Л, Энергоатомиздат, 1991.