

УДК: 612. 017:612.12, 616.12:616.45

## Алгоритм прогноза развития неоптимальных функциональных состояний у лиц, работающих в условиях высокого психо-эмоционального напряжения.

### I. Графическое представление и анализ выбранных показателей ритмограмм

**Быстрова Н.К.**<sup>\*1,2</sup>, **Маевский Е.И.**<sup>\*\*1</sup>, **Парамонова Е.В.**<sup>\*\*\*2</sup>

<sup>1</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино

<sup>2</sup>Институт математических проблем биологии РАН, Пущино

**Аннотация.** Предложен алгоритм оценки функционального состояния (ФС) человека по показателям variability ритма сердца, полученным при проведении активной ортоклиностатической пробы (АОКТ).

**Ключевые слова:** математический анализ variability ритма сердца, физиология сердечно-сосудистой системы, вегетативная нервная система, функциональные состояния, кардиоинтервалография.

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

В различных видах трудовой деятельности человека, в том числе и при обучении, успешность выполняемой работы в значительной мере зависит от функционального состояния (ФС) [1]. У лиц, занятых напряженным трудом с высоким уровнем ответственности, способность поддерживать оптимальное ФС в условиях стресса определяется адаптационными возможностями организма. В настоящее время одним из способов оценки адаптационного потенциала является анализ показателей состояния вегетативной нервной системы (ВНС), которой в организме отведена особая стресс-реализующая роль. Наиболее простым и удобным для практического применения методом оценки состояния ВНС следует признать кардиоинтервалографию, дающую информацию о регуляции ритма сердца [2–4]. Изменение сердечного ритма и показателей центрального кровотока являются важным звеном в адаптации организма к условиям внешней и внутренней среды, что открывает возможности использования характеристик сердечного ритма и показателей гемодинамики для оценки ФС организма в целом.

Оценка функционального состояния (ФС) позволяет выявить ранние признаки развития нежелательных ФС, снижающих эффективность производственного процесса и создающих угрозу личной безопасности человека.

---

\* ответственный за переписку Быстров В.С. [vsbys@mail.ru](mailto:vsbys@mail.ru)

\*\* [eim11@mail.ru](mailto:eim11@mail.ru)

\*\*\* [ekatp@yandex.ru](mailto:ekatp@yandex.ru)

Целью данной работы являлся выбор схемы и адаптация методов исследования ФС для разработки алгоритма оперативной оценки ФС человека-оператора.

Объектом исследования явились здоровые добровольцы в различном функциональном состоянии (физиологическая норма, донозологические состояния, преморбидные состояния, срыв адаптации) и добровольцы-профессионалы, выполняющие работу оператора с повышенным уровнем ответственности.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ

Для оценки состояния вегетативной регуляции, степени напряжении регуляторных систем и состояния различных звеньев управления системой кровообращения использовали комплекс для анализа variability сердечного ритма (ВСР) «Варикард» модели «ВК 1.41» (Институт внедрения новых медицинских технологий «РАМЕНА», г. Рязань). Одновременно с регистрацией ВСР осуществлялся контроль артериального давления по схеме, принятой для каждого конкретного исследования.

Для получения расширенного представления о состоянии ВНС variability ритма сердца исследовали при проведении функциональной пробы. Применение функциональных проб позволяет выявить скрытую функциональную недостаточность организма, определить ее степень, оценить состояние регуляторных механизмов, приспособительных и компенсаторных реакций, поддерживающих гомеостаз в покое и при дозированной нагрузке. Это имеет важное значение, т.к. показано существование различных механизмов реализации эффектов ВНС в покое и при нагрузке [5].

Выбранная для данного исследования активная орто-клиностатическая проба (АОКП) является простым, доступным, и, в то же время, высокоинформативным методом исследования сердечно-сосудистой системы (ССС), позволяющим получить представление о реактивности ВНС и вегетативном обеспечении деятельности организма.

Как правило, уровень ответа ВНС на стрессорное воздействие зависит от силы стрессорного фактора, от исходного уровня функционирования и реактивности ВНС, и от наличия так называемых функциональных резервов (ФР), что и используется для интегральной оценки ФС ВНС [6].

Предложенный алгоритм прогностической оценки ФС состоял из нескольких этапов.

1. Описание исходного вегетативного статуса испытуемого по показателям ритмокардиографии в покое (клиностатическая фаза АОКП). Из 37 показателей, представляемых системой «Варикард» [2, 7], были отобраны 4 наиболее информативных: мода, вариационный размах, коэффициент вариации и индекс напряжения (см. Приложение 1). Дополнительно были использованы показатели гемодинамики, в своей совокупности определяющие функциональный статус ССС: частота сердечных сокращений, уровень артериального систолического, диастолического, пульсового давления.

Был разработан способ графического отображения исходного вегетативного статуса, дающий наглядное представление о степени выраженности имеющегося дисбаланса ВНС.

2. Оценка способности ВНС поддерживать гомеостаз организма в изменившихся условиях (в ортостатическую фазу АОКП) по изменению показателей гемодинамики в ортофазе относительно клиностатической фазы. При этом оценивали переносимость пробы и характеризовали качество вегетативного обеспечения деятельности, выделяя нормальное вегетативное обеспечение, нарушенное избыточное и нарушенное недостаточное [9] (см. Приложение 2).

3. Определение уровня адаптивного ответа ВНС и, соответственно, качество ФР организма, проводили при анализе изменений показателей ритмограммы в ортофазу относительно исходного фона (клинофазы). Выделяли нормальную реакцию ритма,

уменьшенную реакцию и неадекватную реакцию синусового ритма сердца на АОКП (см. Приложение 3).

Особое внимание уделялось описанию специфики переходного процесса ритма сердца. Ранее нами была показана высокая диагностическая информативность этой области [8]. В Приложении 4 приведена наша новая методика оценки показателей переходного процесса, разработанная нами на основе подхода [4].

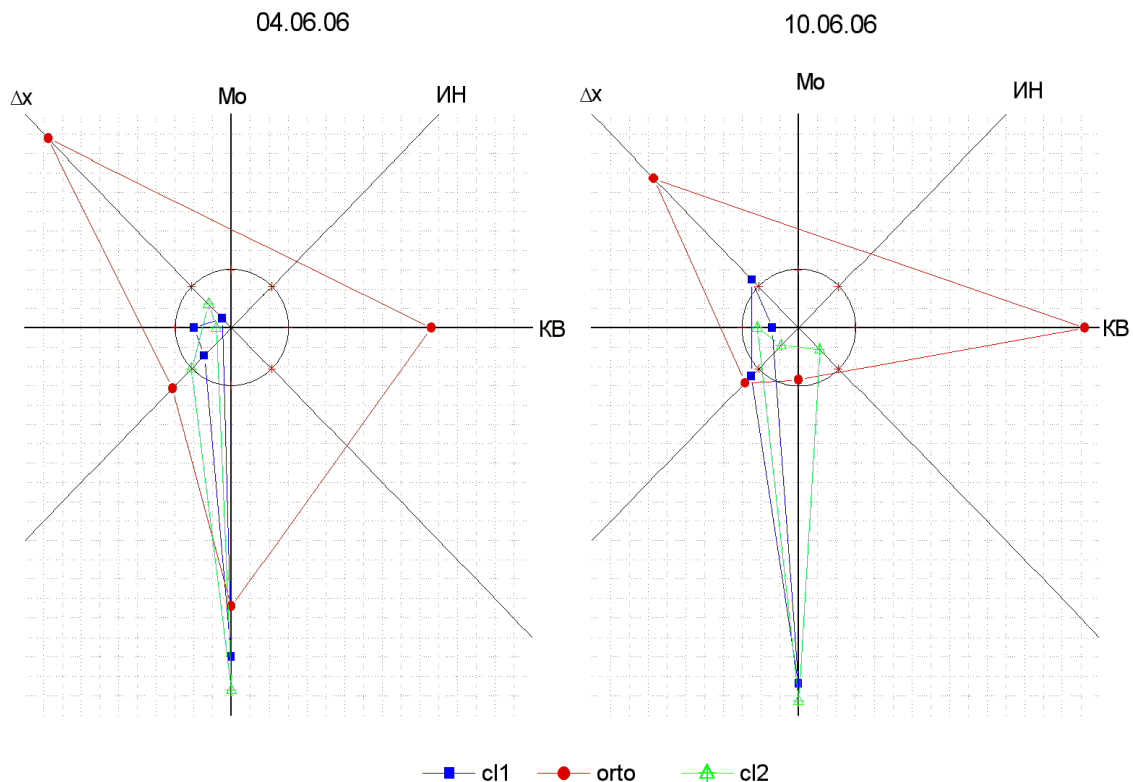
4. Заключение об устойчивости исходного статуса ВНС и величине инертности регулирующей системы по изменению выбранных нами показателей сердечного ритма клиностаза I и фазы оперативного восстановления (клиностаз II).

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами был разработан способ графического отображения ФС ВНС по выбранным показателям ритмограммы, дающий наглядное представление об особенностях вегетативной регуляции сердечного ритма во всех 3 фазах АОКП (рис. 1–4). На представленных рисунках внутри круга находится область тех значений выбранных показателей ритмограммы, которые соответствуют норме.

Так, на рис. 1 представлены варианты изменения показателей сердечного ритма при проведении АОКП у одного и того же испытуемого, но в разные дни исследования с интервалом в 1 неделю. В фазе клиностаза графические образы ФС по выбранным показателям, в общем, аналогичны. В том и в другом случаях отмечается выраженная брадикардия. В первом случае мода равна 1466 мсек (Табл. 1), остальные показатели в норме. Во втором случае (обследование проведено через 1 неделю) мода равна 1512 мсек (что также соответствует выраженной брадикардии), остальные показатели в норме или близки к ней.

На рис. 2 – варианты нормокардического статуса. У всех 3 испытуемых выбранные показатели находятся либо в пределах нормы, либо незначительно отличаются от нее.



**Рис. 1.** Изменение параметров variability сердечного ритма при проведении АОКП. Пояснения к рисунку в тексте.

Таблица 1. Параметры variability сердечного ритма при проведении АОКП к рис. 1°(А), рис. 2 (Б), рис. 3 (В), рис. 4 (Г)

А)

дата исследования	04.06.2006			10.06.2006		
<b>показатели фаза</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>
Вар. размах (Dx), мс	242	570	268	313	498	185
Коэффициент вариации (КВ), %	3,5	9,8	4,1	3,8	12,1	3,4
Мода (Mo), мс	1466	1380	1524	1512	990	1542
Индекс напряжения (ИН)	74	14	50	36	24	93

Б)

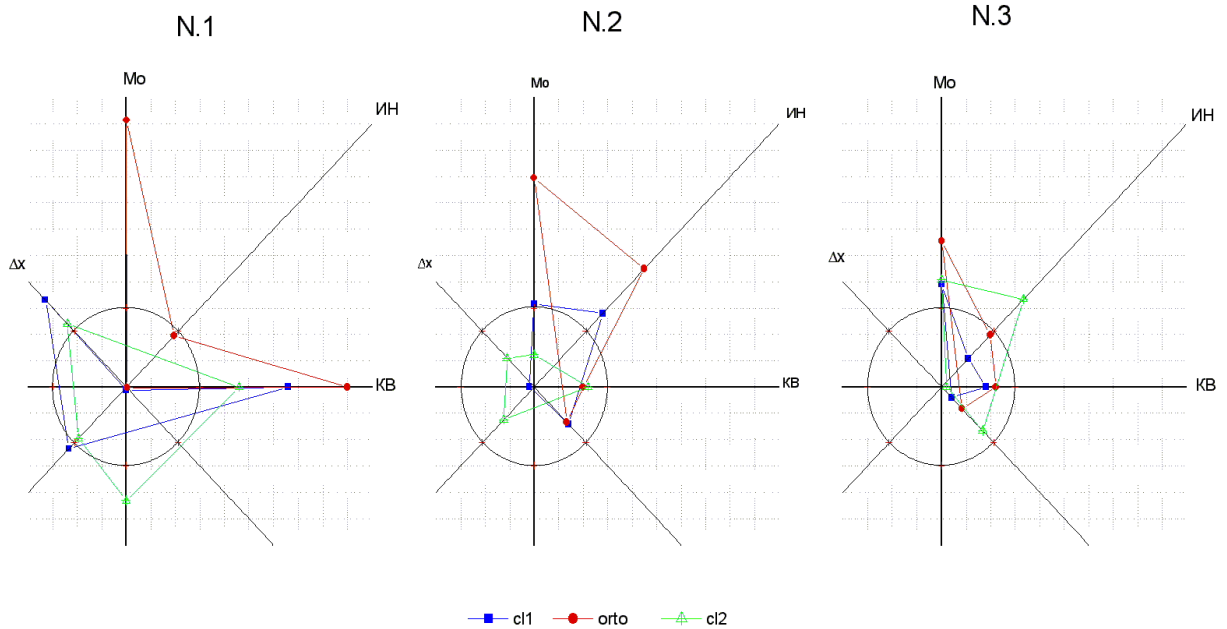
испытуемый N	N.1			N.2			N.3		
<b>показатели фаза</b>	<b>cl.1</b>	<b>Orto</b>	<b>cl.2</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>
Вар. размах (Dx), мс	342	224	310	175	178	264	211	196	166
Коэффициент вариации (КВ), %	7,8	9	6,8	4,4	5,5	5,6	5,4	5,6	4,6
Мода (Mo), мс	904	562	1044	795	635	859	770	715	764
Индекс напряжения (ИН)	42	194	56	224	284	81	163	195	243

В)

испытуемый N	N.1			N.2		
<b>показатели фаза</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>
Вар. размах (Dx), мс	115	132	111	89	84	157
Коэффициент вариации (КВ), %	2,8	3,7	2,4	2,2	2,8	4,3
Мода (Mo), мс	938	803	969	827	698	817
Индекс напряжения (ИН)	422	350	411	808	923	242

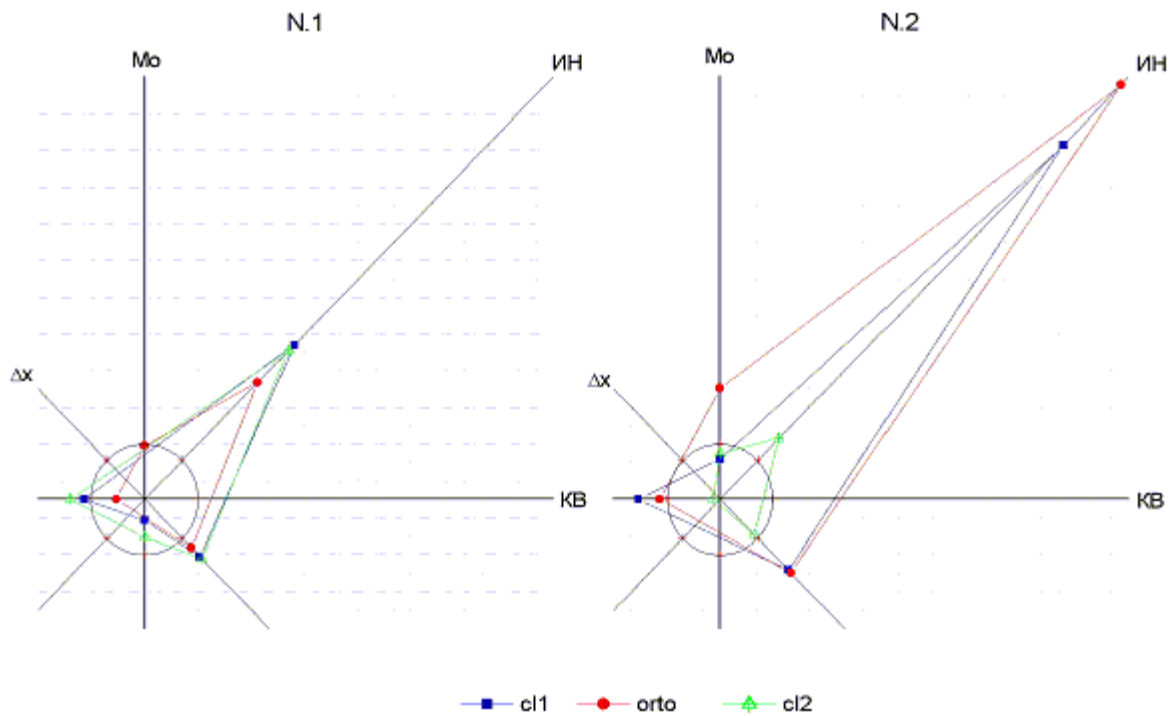
Г)

испытуемый N	N.1			N.2		
<b>показатели фаза</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>	<b>cl.1</b>	<b>orto</b>	<b>cl.2</b>
Вар. размах (Dx), мс	157	164	129	205	395	252
Коэффициент вариации (КВ), %	2,5	3,3	2,2	4,1	9,5	5
Мода (Mo), мс	1266	1130	1304	1036	864	1070
Индекс напряжения (ИН)	169	172	210	108	55	70



**Рис. 2.** Изменение параметров variability сердечного ритма при проведении АОКП. N1. – пациент № 1, N2 – пациент № 2, N3 – пациент № 3. Пояснения к рисунку в тексте.

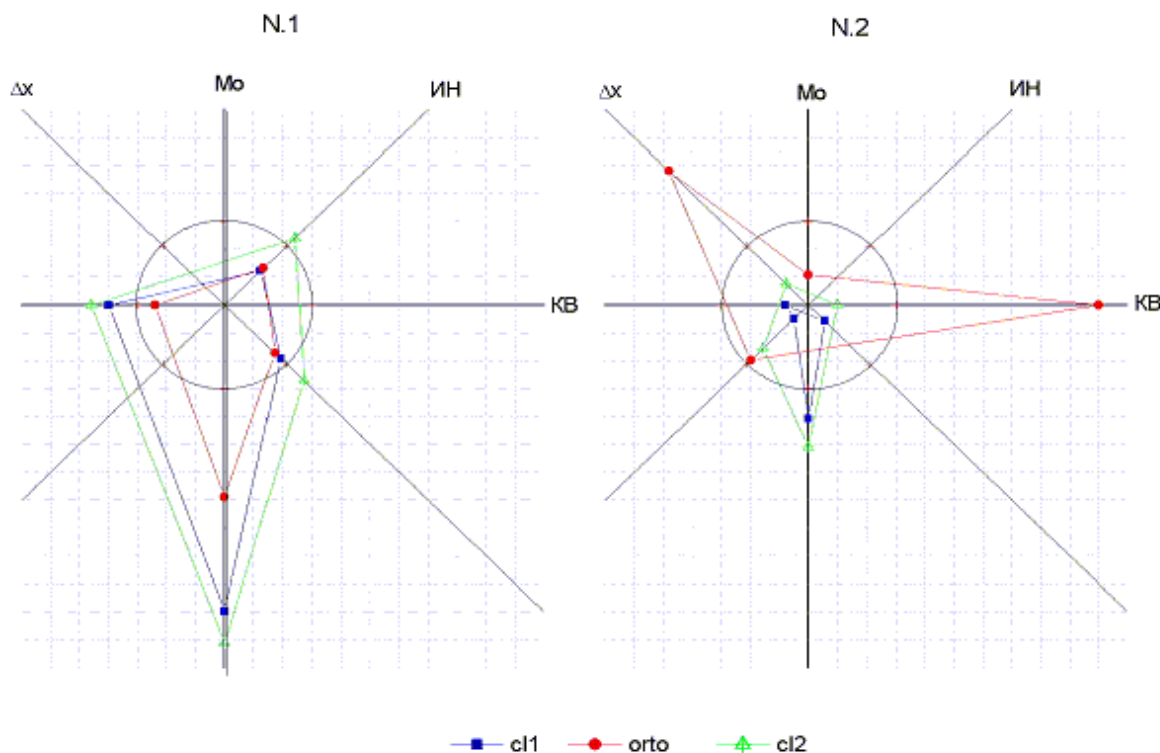
На рис. 3 представлены две диаграммы испытуемых с исходно повышенным индексом напряжения ИИ: у первого испытуемого – 422, у второго – 808. Это свидетельствует о преобладании симпатикотонии, в первом случае - умеренной, во втором – выраженной, что подтверждают и показатели вариационного размаха  $\Delta X$ .



**Рис. 3.** Изменение параметров variability сердечного ритма при проведении АОКП. Пояснения к рисунку в тексте.

На рис. 4 – два случая с исходной брадикардией, причем, у первого выраженная мода равна 1266 мсек, а у второго – 1036 мсек.

При анализе перестройки показателей variability ритма сердца при переходе в ортоположение отмечены различные варианты изменения показателей, не зависящих от исходного статуса. Так, на рис. 1 реакция на ортопробу в первом случае выражена в большей степени по показателям, характеризующим дисбаланс ВНС: ИН и  $\Delta X$ . ИН снижается на 60 единиц, во втором случае на 12;  $\Delta X$  возрастает на 328 мсек, во втором случае – на 185 мсек. А во втором случае в большей степени изменяется КВ (в первом случае возрастает на 6.3, а во втором – на 8 единиц) и мода (в первом случае снижается на 88 мсек, а во втором на 522 мсек).



**Рис. 4.** Изменение параметров variability сердечного ритма при проведении АОКП. Пояснения к рисунку в тексте.

Показатели испытуемых с относительно «хорошим» исходным статусом (рис. 2) в ортопробе изменяются различным образом. У испытуемого № 3 все показатели остаются в пределах нормы, кроме моды. У испытуемого № 2 ортопроба вызывает значительные изменения моды и индекса напряжения, и это говорит о снижении резервных возможностей. Тогда как у испытуемого № 1 реакция на ортопробу свидетельствует не только о снижении ФР, но и о неадекватности системы регуляции.

Представленные диаграммы на рис. 3 свидетельствуют об истощении ФР у испытуемого № 2. В то время как у испытуемого № 1 переход в ортостаз сопровождался некоторым улучшением ФС, хотя направленность изменений показателей свидетельствует о неадекватности системы регуляции.

На рис. 4 у испытуемого с более выраженным изменением исходного статуса (пациент № 1) ортостатическая нагрузка приводит к улучшению ФС: три показателя приходят в норму, а четвертый (мода) значительно улучшается (с 1266 мсек до 1130 мсек). У второго же испытуемого, имеющего более «благополучный» исходный статус, ортостатическая нагрузка вызывает значительное изменение показателей, что свидетельствует о сниженных ФР.

#### 4. ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования было установлено, что в исходном состоянии в фазе клиностаза 1 индивидуальные особенности ритма сердца дают более устойчивый графический образ, чем графический образ, полученный по совокупности этих же показателей в фазе ортостаза.

Это свидетельствует о том, что показатели переносимости ортопробы, особенности переходного периода и изменения показателей ритмограммы в ортофазе, в большей степени характеризуют особенности ФС на момент обследования, чем показатели variability ритма сердца в покое (клиностаз 1).

Таким образом, предложенный графический анализ изменения выбранных показателей сердечного ритма позволяет сделать заключение о ФР, адекватности регуляции и исходном статусе ВНС испытуемых и, соответственно, получить оперативное представление об ФС обследуемого.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

#### ПОКАЗАТЕЛИ ВРС, ВЗЯТЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА В ДАННОЙ РАБОТЕ, И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**КВ** - коэффициент вариации (КВ) – характеризует суммарный эффект регуляции.

**М<sub>0</sub>** – мода – характеризует наиболее вероятный уровень функционирования сердечно-сосудистой системы.

**ΔX** – вариационный размах - характеризует максимальную амплитуду регуляторных влияний.

**ИН** – индекс напряжения – характеризует активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального контура регуляции.

#### Характеристики выбранных параметров ВРС [2, 6]:

**вариационный размах (ΔX)** - характеризует дисбаланс ВНС: выраженный, умеренный, норма:

150 – 300 (0,15 – 0,3) – норма;

менее 150 – умеренное преобладание симпатикотонии;

менее 60 – выраженная симпатикотония;

более 300 – умеренное преобладание парасимпатикотонии;

более 500 – выраженное преобладание парасимпатикотонии.

**индекс напряжения (ИН)** – характеризует симпатикотонию, парасимпатикотонию или норму:

от 50 до 200 – норма;

более 200 – умеренное преобладание симпатикотонии;

более 500 – выраженное преобладание симпатикотонии;

менее 50 – умеренное преобладание парасимпатикотонии;

менее 25 – выраженное преобладание парасимпатикотонии.

**коэффициент вариации (КВ)** – характеризует стабильное состояние с определенным водителем ритма, дизрегуляцию, норму и переходные процессы с перестройкой регуляции:

от 3 до 6 – норма;

менее 3 и более 6 – дизрегуляция;

менее 2 - стабильное состояние с определенным водителем ритма,

более 8 – переходные процессы с перестройкой регуляции.

**мода (M<sub>0</sub>)** – характеризует норму, умеренную и выраженную тахикардию, брадикардию:

0,8 – 1,0 (800 – 1000 мс) – норма;

менее 0,8 – умеренная тахикардия;

менее 0,66 – выраженная тахикардия;

1,0 – умеренная брадикардия;

более 1,2 – выраженная брадикардия.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПОКАЗАТЕЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ПРОБЫ

### Оценка ортостатической пробы [9]

Частота сердечных сокращений	Учащение не более, чем на 11 уд.	Учащение на 12 – 18 ударов	Учащение на 19 и более ударов
Давление:			
Систолическое	Повышается	Не меняется	Снижается в пределах 5 – 10 мм рт. ст.
Диастолическое	Снижается	Не изменяется или несколько повышается	Повышается
Пульсовое	Повышается	Не изменяется	Снижается
Вегетативные реакции	Отсутствуют	Потливость	Потливость, шум в ушах

### Характеристики качества вегетативного обеспечения [6]

#### Нормальное вегетативное обеспечение деятельности

1. Сразу после вставания возможен кратковременный подъем систолического артериального давления (АД) (САД) до 20 мм рт.ст, в меньшей степени – диастолического АД (ДАД).

2. Через 2 мин. после вставания САД может снижаться на 15 мм рт.ст. ниже исходного уровня или оставаться неизменным; ДАД остается неизменным или несколько повышается, так что амплитуда АД по сравнению с исходным уровнем может снизиться.

3. Возможно проходящее увеличение ЧСС до 30 ударов/мин.

#### Нарушение вегетативного обеспечения деятельности

##### 1. Избыточное вегетативное обеспечение:

а) подъем САД более, чем на 20 мм рт.ст.; ДАД при этом также повышается, иногда более значительно, чем САД, в других случаях оно снижается или остается на прежнем уровне;



- б) подъем только ДАД при вставании;
- в) рост ЧСС сразу после вставания более чем на 30 ударов/мин.;
- г) повышение ЧСС во время стояния более чем на 30-40 ударов/мин. при относительно неизменном АД – тахикардическое нарушение по W. Birkaumer; может возникнуть ортостатическое тахипноэ;
- д) в момент вставания появляются ощущения прилива к голове,
- е) потемнение в глазах.

## 2. Недостаточное вегетативное обеспечение:

- а) преходящее снижение САД более чем на 10 – 15 мм рт.ст. непосредственно после вставания; при этом ДАД может или повышаться, или снижаться, так что пульсовое АД значительно уменьшается;
- б) во время стояния (на 2 – 4-й минуте после вставания) САД падает более чем на 15 – 20 мм рт.ст. ниже исходного уровня; ДАД остается неизменным или несколько повышается – гипотоническое нарушение регуляции по W. Birkaumer;
- в) жалобы больного на головокружение и ощущение слабости после вставания.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

### ПОКАЗАТЕЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Типы переходных процессов и характеристики изменения показателей ВРС в ортостазе [4]:**

**НР** - нормальная реакция ритма:

быстрое учащение ритма не менее, чем на 30% от исходного уровня ( $RR_{\max} / RR_{\text{cll}} > 30\%$ ) с незначительным изменением разницы  $RR_{\text{ort}} - RR_{\text{cll}}$ .

**УР** – уменьшенная реакция ритма:  $RR_{\max} / RR_{\text{cll}} < 30\%$  .

Это характерно для снижения уровня вегетативной регуляции при патологии и ухудшении функционального состояния или под медикаментозным влиянием.

**НаР** – неадекватная реакция синусового ритма на активную ортостатическую пробу:

- учащение ритма при выраженной его стабилизации ( $KB < 2$ );
- учащение ритма при парадоксальном увеличении дисперсии;
- снижение реакции на ортостатическую пробу.

Эти нарушения ритма имеют в основном функциональный характер.

### Изменение индекса напряжения ИН [2]:

Возрастание значений ИН в пределах ИН **500** – это норма, т.е. приемлемый уровень реакций, указывающий на наличие достаточных функциональных резервов.

Возрастание значений ИН в интервале **от 500 до 900** – свидетельствует о выраженной симпатикотонии и определяет снижение функциональных возможностей организма.

Возрастание ИН свыше **900** – это неприемлемо высокий уровень функционирования симпатического отдела ВНС, т.е. в крови уровень маркеров стрессового повреждения повышен. Это имеет место при истощении функциональных резервов, или при высоком уровне тренированности, высоком уровне готовности к ответу.

Если ИН снижается после нагрузки – это указывает на наличие парасимпатикотонии, в которой необходимо разбираться врачу.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4.**

**НАГЛЯДНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ РИТМОГРАММЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АОКП**

**Анализ переходных периодов ритмограммы, зарегистрированных при проведении АОКП, выполненный по разработанной нами специальной методике (на основе развития подхода [4]), приводится на примере конкретных ритмограмм.**

Основные этапы данной методики наглядно представлены на рисунках ниже.

Представлена пульсограмма, рассчитанная по обратным величинам кардиоинтервалов.

Выделены 1-ый и 2-ой переходные процессы.

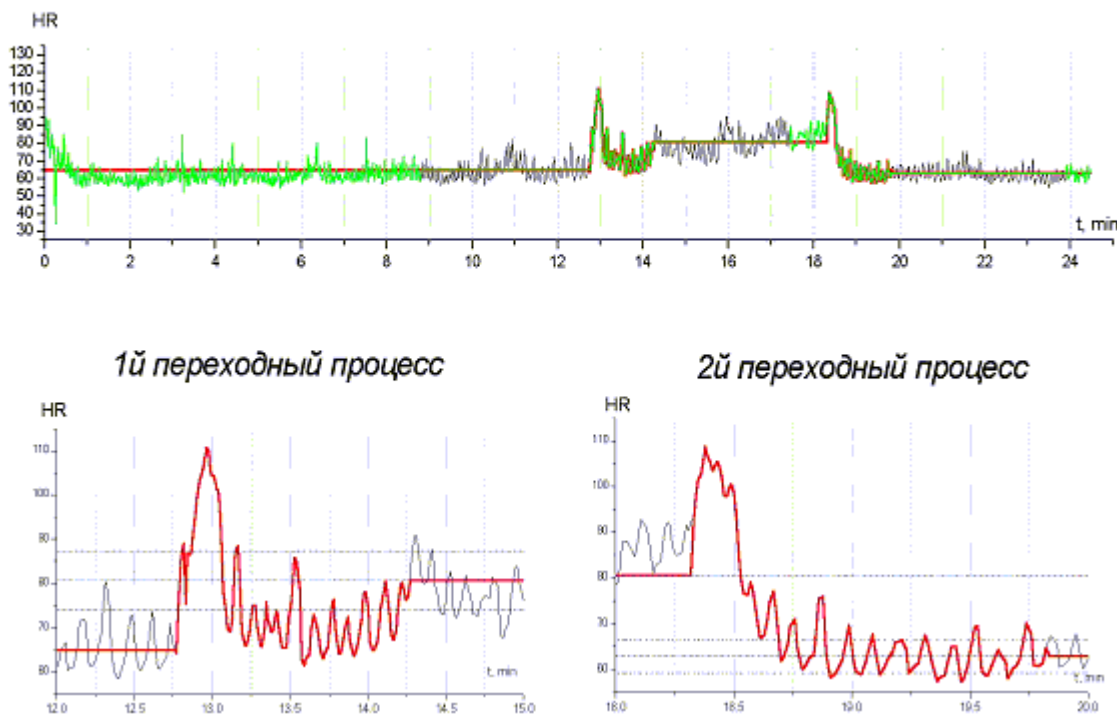
Приведены количественные показатели переходных процессов.

Представлена выделенная часть пульсограммы, включающая первые 40 кардиоинтервалов ортофазы.

Рассчитан коэффициент  $K_{30/15}$  ( $RRp30/RRp15$ ).

Все показатели определяются и рассчитываются по специальной программе, написанной нами на языке FORTRAN.

Количественные характеристики переходных процессов



**Рис. П. 4.1.** Выделение 1-го и 2-го переходных процессов.

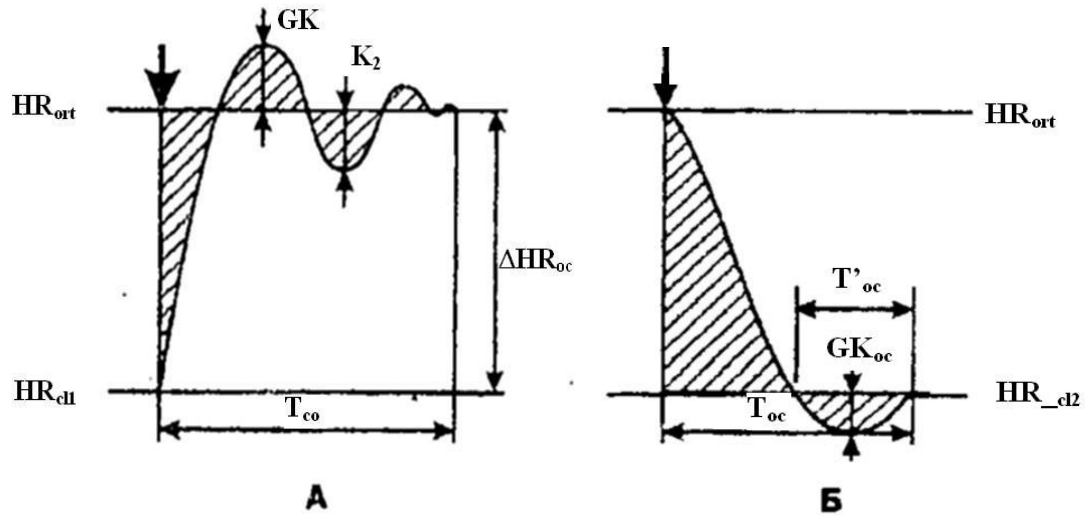


Рис. П.4.2. Некоторые важные показатели регуляции сердечного ритма при ортостатической (А) и клиностатической (Б) пробах, определяемые по методике [4].

**1й переходный процесс**

$T_{co}$	$HR_{d1}$	$HR_{ort}$	$\Delta HR_{oc}$	GK	K2	$S_{co}$	$MAX_{co}$	$MIN_{co}$
90.5	72	78	7	26	8	9.33	104	71

**2й переходный процесс**

$T_{oc}$	$T'_{oc}$	$HR_{cl2}$	$GK_{oc}$	$S_{oc}$	$MAX_{oc}$	MIN
90.3	59.1	72	1	7.7	101	73

RRp30/RRp15	sigma_ort	$HR_{d1}/HR_{ort}\%$	$HR_{cl2}/HR_{ort}\%$	$\Delta_{co}^+$	$\Delta_{co}^-$
1.1	5.9	91	92	20	2

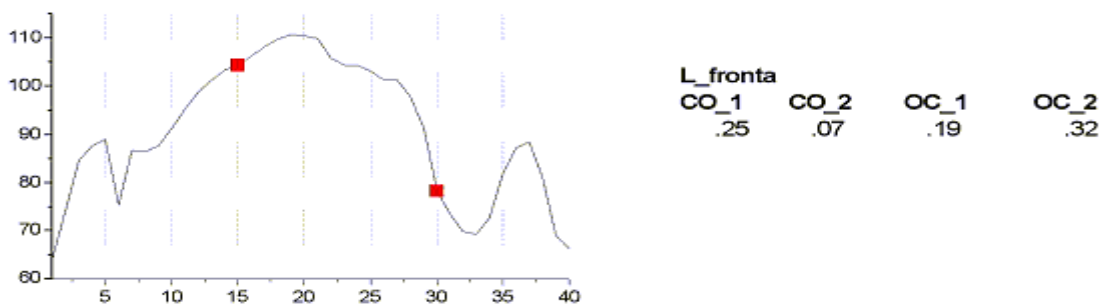


Рис. П.4.3. Количественные показатели переходных процессов, включая ряд дополнительных к [4] характеристик, определяемых в разработанной нами программе. Показано также определение положений 15 и 30 интервалов от начала 1-го (CO) переходного процесса.

### Количественные характеристики переходных процессов

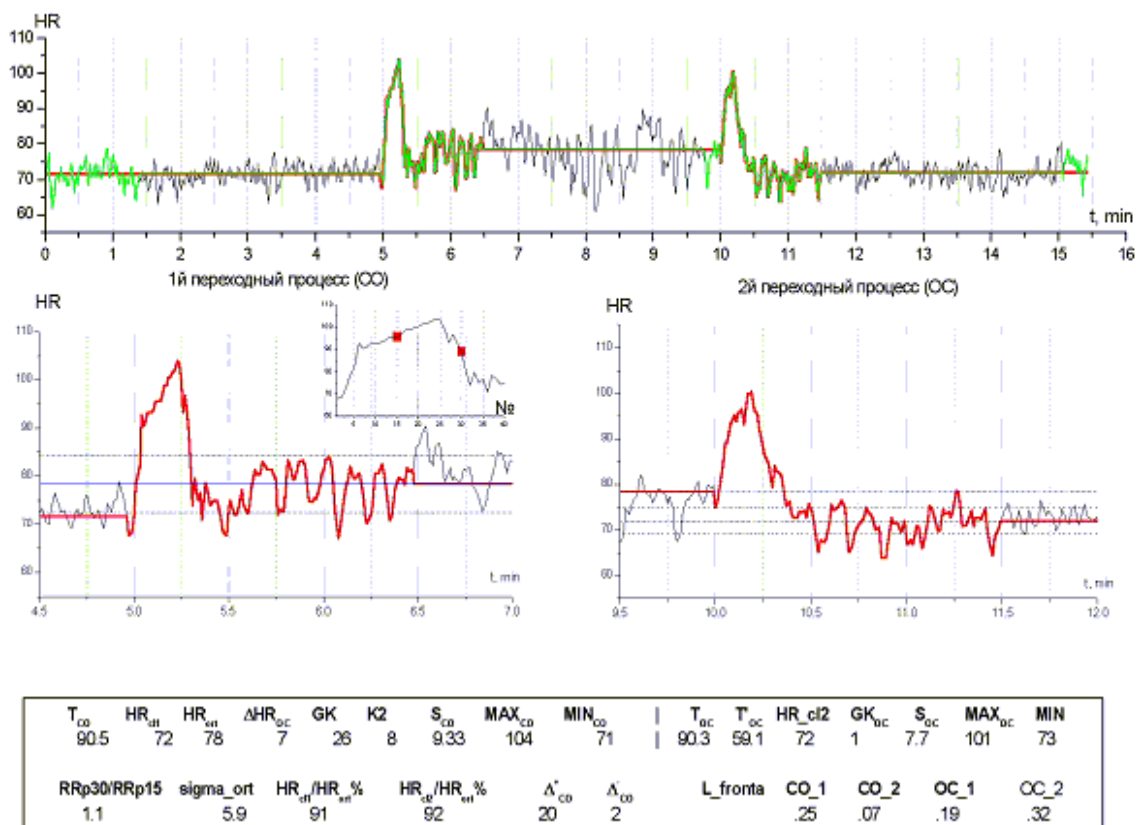


Рис. П.4.4. Количественные характеристики переходных процессов, с выделенной частью пульсограммы (первые 40 интервалов ортофазы), для определения коэффициента К 30/15 (RRp30/RRp15).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Н.Н. *Психофизиологическая диагностика функциональных состояний*. М.: Изд-во МГУ, 1992. 192 С.
2. Баевский Р.М., Кириллов О.В., Клецкин В.П. *Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе*. М., 1984.
3. Дорошев В.Г. *Системный подход к здоровью летного состава в XXI веке*. М.: Паритет Граф, 2000. С. 368.
4. Березный Е.А., Рубин А.М. *Практическая кардиоритмография*. Санкт-Петербург: НПП «Нео», 1999. 144 С.
5. Жемайтите Д.М. *Анализ сердечного ритма*. Вильнюс, 1982.
6. Петров В.И., Попов А.С., Иноземцев А.В. *Интегральная оценка функционального состояния вегетативной нервной системы*. Вестн. Рос. акад. мед. наук. 2004. С. 14–18.
7. *Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации, и клинического использования*. Санкт-Петербург: АОЗТ «ИНКАРТ», 2001.
8. Быстрова Н.К., Маринина М.В., Садырина Е.В., Сивашев М.С. Пульсометрия переходных процессов при активной ортостатической пробе. *Вестник Аритмологии*. 2002. Т. 27. С.18–20.
9. Киеня А.И., Бандажевский Ю.И. *Здоровый человек: основные показатели: Справочник*. Минск: ИП «Экоперспектива», 1997. 108 С.

Материал поступил в редакцию 08.09.2009, опубликован 23.10.2009.