

## Исследование погрешностей данных фотоплетизмограммы для анализа вариабельности сердечного ритма

М.И. Стригина<sup>1,2</sup>, Д.Б. Чайванов<sup>1,2</sup>, Ю.А. Чудина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – НИЦ «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup> – ФГБУН «НЦБМТ ФМБА России», Московская обл.

Контактная информация: к.ф.-м.н. Чайванов Дмитрий Борисович, [chaivanov@yandex.ru](mailto:chaivanov@yandex.ru)

В настоящей работе исследована возможность применения данных фотоплетизмограммы для анализа вариабельности сердечного ритма. Экспериментально определены значения рассогласования вариабельности кардиоинтервалов по данным фотоплетизмограммы и электрокардиограммы в зависимости от места наложения датчиков, функционального состояния нервной системы и психофизиологических особенностей испытуемых.

**Ключевые слова:** вариабельность сердечного ритма, фотоплетизмография, электрокардиография, функциональное состояние нервной системы, психофизиологические особенности.

Анализ вариабельности сердечного ритма зарекомендовал себя как высококачественный метод оценки адаптивных возможностей, состояния регуляторных систем, общей оценки состояния организма. На данный момент анализ вариабельности сердечного ритма осуществляется преимущественно по данным электрокардиограммы (ЭКГ). Это связано с тем, что метод ЭКГ удобен, достаточно прост в использовании, не требует особой подготовки для проведения диагностики. Необходимость анализа вариабельности сердечного ритма по данным фотоплетизмограммы (ФПГ) обусловлена тем, что в условиях проведения ряда физиотерапевтических процедур снятие ЭКГ не представляется возмож-

ным, поскольку помехи, наводимые во время процедур стимуляционными воздействиями, существенно превышают амплитуду полезного сигнала в его спектральной области. Существуют приборы, в которых для оценки вариабельности сердечного ритма применяются данные ФПГ [2]. В исследовании Е.Л. Малиновского было показано, что использование методики фотоплетизмографии в качестве метода оценки состояния пациента во время выполнения физиотерапевтических процедур позволяет повысить качество лечебного воздействия, значительно снижая количество отрицательных реакций на основе подбора индивидуальных параметров воздействия физиотерапевтических процедур [3]. Однако анализ

возможности адекватной и полноценной замены данных ЭКГ, полученных при анализе вариабельности, данными ФПГ в полной мере не проведен. В данной работе положено начало подобного анализа, что определило цель и задачи настоящего исследования.

**Целью исследования** является изучение возможности применения данных ФПГ для анализа вариабельности сердечного ритма. Учитывая, что анализ вариабельности сердечного ритма по данным ЭКГ основывается на измерении длительности сердечного цикла (RR-интервал), можно предположить, что анализ вариабельности сердечного ритма по данным ФПГ должен основываться на измерении длительности пульсовой волны (ДПВ). В стационарных состояниях, при неизменных характеристиках свойств сосудов величины ДПВ и RR должны в точности совпадать. Наличие некоторой задержки в получении данных по ФПГ связано с тем, что в норме кровь очередного ударного объема достигает пальцевого датчика через 3-5 с, а ушного – через 2-3 с после сердечного сокращения [7]. При изменении свойств сосудов такая задержка может увеличиваться или уменьшаться. Если в течение одного кардиоцикла происходят существенные изменения свойств кровеносных сосудов, величины ДПВ и RR могут отличаться. Очевидно, что свойства сосудов даже в норме существенно зависят от индивидуальных морфологических и функциональных особенностей, в т.ч. от характеристик работы регуляторных систем в ответ на различные внешние воздействия. Необходимость выявления внешних и внутренних факторов определила круг задач настоящего исследования.

*Основной задачей исследования* стало выявление случаев, в которых длительность кардиоцикла по ЭКГ и ФПГ будет различаться, а также поиск причин этих различий. Во-первых, необходимо было выяснить, при каком положении датчиков такое отличие будет минимальным. Во-вторых, важно было понять, какие свойства здоровых испытуемых-добровольцев влияют на величину отличия. В связи с этим, исследовали степень рассогласования длительности кардиоцикла по ЭКГ и ФПГ в зависимости от следующих факторов:

- места наложения датчика ФПГ;
- уровня возбуждения нервной системы и фокуса внимания первой сигнальной системы испытуемого;
- соотношения вклада симпатического и парасимпатического отделов в регуляцию функций организма (типа вегетативного реагирования);
- психофизиологических особенностей испытуемых.

### **Материалы и методы**

**Испытуемые.** В исследовании принимали участие 34 добровольца в возрасте 18-57 лет. Все испытуемые были здоровы и не имели патологий сердечно-сосудистой и нервной систем.

**Фиксация и обработка данных.** Запись показателей производили отдельно для каждого испытуемого, во время которой он находился в сидячем положении, руки располагались на подлокотниках кресла. Запись ФПГ и ЭКГ осуществлялась одновременно. Для записи ФПГ и ЭКГ использовался психофизиологический телеметрический программно-аппаратный комплекс «РЕ-

АКОР». Обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel, пакетов SPSS и STATISTICA.

Запись ЭКГ осуществлялась в стандартном отведении, для этого электроды позиционировались на запястьях. Обработка записей ЭКГ производилась автоматически, путем оценки геометрических и статистических параметров [1]. Для анализа variability сердечного ритма по данным ЭКГ использовали спектральный анализ и метод вариационной пульсографии. В ходе спектрального анализа выявляли следующие показатели: показатель активности симпатического отдела вегетативной нервной системы (LF), связанный с расходом ресурсов организма, и индекс активации подкорковых центров (ИАП), на основе которого определяют степень включенности высших вегетативных центров в регуляцию автономных процессов. С помощью метода вариационной пульсографии вычисляли индекс напряжения (ИН), отражающий уровень напряжения регуляторных процессов организма.

Данные ФПГ одновременно фиксировали от 3-х участков поверхности тела: концевая фаланга указательного пальца левой руки, мочка левого уха, участок шеи с левой стороны. Это было необходимым условием выбора наилучшего отведения при записи ДПВ, который рассматривался нами в качестве аналога длительности RR-интервалов ЭКГ (рис. 1). Степень рассогласования между данными ФПГ и ЭКГ определяли как среднеквадратичное отклонение разности между значениями RR и ДПВ (SKORR-ДПВ, SKO).

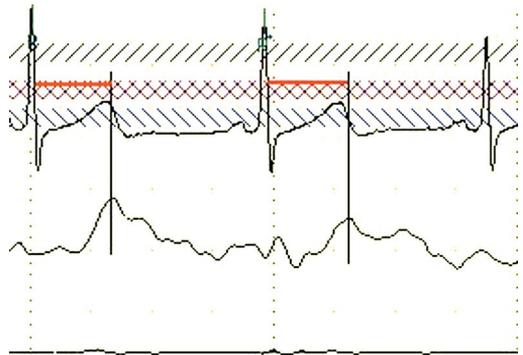


Рис. 1. Длительность RR интервала (вверху) и ДПВ (внизу). Красным цветом обозначена разница кардиоинтервалов по ЭКГ и ФПГ.

**Ход эксперимента.** С целью выявления степени рассогласования данных, полученных с помощью ФПГ и ЭКГ, в зависимости от уровня возбуждения ЦНС, запись ЭКГ и ФПГ осуществлялась в 4 этапа, среди которых был 1 предварительный и 3 основных. Предварительный этап записи данных проводился с целью стабилизации состояния испытуемого, в ходе которого предъявляли изображения природных ландшафтов и просили испытуемых расслабиться. В дальнейшем обрабатывали данные, полученные только в ходе основных этапов. Запись данных на каждом этапе продолжалась в течение 2 мин. Интервал между этапами, составляющий 10 с, использовали для предъявления инструкции.

На первом основном этапе осуществлялся базовый замер показателей ФПГ и ЭКГ. Для этого испытуемому давалась инструкция сидеть спокойно, не двигаться, а в это время в наушниках играла спокойная музыка. На втором основном этапе в наушники подавались неприятные звуки высокой интенсивности (крики людей, звук сирены, неприятные

шумы), которые создавали у испытуемого активацию и даже некомфортное состояние напряжения. На последнем этапе испытуемых просили расслабиться, для создания состояния релаксации на мониторе демонстрировали видеоряд с горными пейзажами, при этом в наушники подавалась спокойная музыка.

Таким образом, на 1-м и 3-м основных этапах поддерживали низкий уровень возбуждения нервной системы, сочетающийся с переориентацией фокуса внимания первой сигнальной системы внутрь [6]. Напротив, на втором этапе уровень возбуждения нервной системы повышался путем применения стимуляции и происходило направление фокуса внимания на внешние процессы.

Для выявления возможных психофизиологических особенностей испытуемых, связанных со СКО RR-ДПВ, использовали опросник структуры темперамента В.М. Русалова (ОСТ) и опросник выявления способов совладающего поведения Р.Лазаруса и С.Фолкмана (ССП). Опросник ОСТ, разработанный на основе авторской концепции темперамента, служит для диагностики темпераментальных особенностей человека, состоит из 105 вопросов [4]. Опросник СПП, используемый для определения способов преодоления трудностей (копинг-стратегий), включает 50 утверждений, каждое из которых отражает определенный способ поведения в трудной или проблемной ситуации. По результатам опросника определяется, насколько часто испытуемый использует ту или иную копинг-стратегию для преодоления сложных и проблемных ситуаций [8]. Эти опросники были выбраны на

основе данных о том, что показатели их шкал имеют значимые корреляции с показателями вегетативного реагирования [5].

Полученные данные анализировали с помощью корреляционного анализа, для расчета корреляций использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ), значимыми считали корреляции, для которых  $p < 0,05$ . Различия определяли с помощью парного критерия Вилкоксона ( $W$ ) и Манна-Уитни ( $U$ ), значимыми считали различия, для которых  $p < 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

На основе зафиксированных данных СКО RR-ДПВ были вычислены по всем испытуемым, отдельно для каждого из трех отведений (палец, ухо и шея) и по каждому из трех основных этапов (табл. 1).

Таблица 1  
Значения среднеквадратичных отклонений разности RR и ДПВ (мс) и их стандартных отклонений для всех испытуемых в разных отведениях и для разных этапов

Номер этапа	Отведение		
	Ухо	Палец	Артерия
1	23,3±25,7	105±38,3	109 ±40,1
2	20,1±17,0	110 ±33,6	114 ±35,8
3	17,9±16,0	105 ±34,3	111 ±36,8

Из табл. 1 видно, что по всем испытуемым наименьшим является СКО на ушном датчике, это характерно для всех этапов исследования. Этот факт свидетельствует о том, что из всех отведений ушной датчик фиксирует данные, имеющие минимальное расхождение с данными ЭКГ. То есть запись данных с этого датчика меньше всего подвержена

влиянию внешних факторов. Это можно связать со следующими физиологическими особенностями:

- в отличие от пальца, на ухе мускулатура редуцирована;
- на мочке уха отсутствует хрящевая ткань;
- пульсовая волна до ушного датчика доходит быстрее, чем до пальцевого, что обусловлено близостью к сердцу;
- шейный датчик дает большое количество артефактов, связанных с глотанием, дыханием, также при съеме показателей человеку приходится молчать, что обеспечивается только в экспериментальных условиях.

Кроме того, именно в отведении «ухо» наблюдается постепенное снижение значений СКО на протяжении основных этапов исследования, для которых характерен разный уровень активности и напряжения. Также из табл. 1 видно, что на этапе напряжения СКО по ушному датчику не является максимальным. По другим отведениям наибольшее увеличение СКО является характерным для второго этапа, на котором общее напряжением увеличивалось. Эти особенности говорят в пользу того, что СКО по ушному отведению не соответствует динамике уровня напряжения, а СКО по другим отведениям – прямо зависит от этих изменений. Однако в данном случае мы можем говорить только о тенденции, характерной для всех испытуемых, т.к. значимых различий между СКО разных этапов обнаружено не было.

Из табл. 1 видно, что стандартное отклонение СКО на ушном датчике вне зависимости от этапа является практи-

чески равным самому значению СКО, что указывает на неравномерность распределения значений СКО в данной выборке испытуемых. Для иллюстрации данного предположения была построена гистограмма значений СКО для ушного датчика (рис. 2). Из рис. 2 видно, что значения СКО распределены неравномерно и имеют выбросы, характерные для некоторых испытуемых и проявляющиеся на всех этапах исследования.

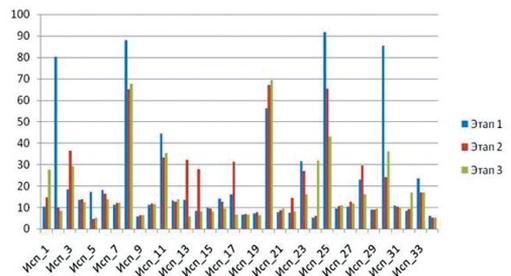


Рис. 2. Гистограмма значений СКО (RR-ДПВ) на ушном датчике для всех испытуемых. По горизонтали – порядковый номер испытуемого, по вертикали – величина СКО.

Исходя из того, что количество выбросов значений СКО и их величина не позволяют отнести их к погрешностям или ошибкам измерения, необходимо провести анализ и выяснить причины их возникновения. Данный вопрос представляет интерес в связи с тем, что на артериальном и пальцевом датчиках подобных выбросов в таком количестве и аналогичной амплитуды выявлено не было.

Для выявления возможных связей был проведен корреляционный анализ между значениями СКО на ушном электроде и показателями вегетативной динамики по данным ЭКГ, а также между значениями СКО в отведении «ухо» и значениями по шкалам опросников ОСТ

и ССП. В результате были выявлены следующие значимые корреляции:

- между СКО и шкалой «самоконтроль» опросника ССП на первом ( $r=0,405$ ), втором ( $r=0,411$ ) и третьем ( $r=0,359$ ) этапе исследования. Это указывает на то, что рассогласование RR и ДПВ связано со склонностью испытуемых к целенаправленному поведению, которое состоит в подавлении активности, сдерживании своих эмоций и в стремлении к самообладанию;

- между СКО и LF на первом этапе исследования ( $r=0,457$ ). Эта положительная связь указывает на то, что на первом этапе рассогласование RR и ДПВ определяется вкладом симпатического отдела вегетативной нервной системы;

- между СКО и ИАП на втором ( $r=-0,458$ ) и третьем ( $r=-0,369$ ) этапах. Это указывает на то, что рассогласование RR и ДПВ детерминируется отключением влияния высших вегетативных центров при регуляции автономных процессов на этапе напряжения и последующего расслабления;

- между СКО и ИИ ( $r=-0,427$ ) на первом этапе исследования. На этапе спокойного бодрствования рассогласование RR и ДПВ определяется отсутствием напряжения регуляторных процессов организма.

Наличие рассмотренных значимых положительных и отрицательных связей между СКО и показателями работы регуляторных механизмов позволяет говорить об интегративном характере СКО и его неоднородности для разных функциональных состояний. Кроме того, намечается определенная зависимость степени рассогласования RR и ДПВ с этапами исследования. На первом этапе СКО детерминируется вкладом симпа-

тического отдела при отсутствии напряжения регуляторных процессов. На втором и третьем этапе СКО определяется отключением высших вегетативных центров и участием произвольной регуляции и самоконтроля.

Для анализа выбросов значений (рис. 2) выборка была разделена на группы по тем показателям, с которыми были обнаружены значимые связи. Это было сделано с целью выяснения закономерностей изменения значений СКО в зависимости от динамики показателей физиологических и психофизиологических процессов. Деление на группы осуществлялось в зависимости от степени выраженности следующих показателей: склонности к произвольной регуляции поведения, вклада симпатической системы, напряжения регуляторных систем, активации подкорковых центров. Таким образом, по каждому показателю выборку делили на разные группы.

Для выявления связи между вариабельностью значений СКО RR-ДПВ и выраженностью склонности к использованию произвольных регуляторных процессов, определяемой по шкале «самоконтроль», всех испытуемых разделили на 2 группы (табл. 2). В первую группу вошли 15 испытуемых с высокой выраженностью склонностей к целенаправленной саморегуляции (13-18 баллов), во вторую – 19 испытуемых с низкой выраженностью данного свойства (5-12 баллов).

Из табл. 2 видно, что СКО RR-ДПВ на ушном датчике на всех этапах в первой группе выше, чем во второй. Это говорит о том, что люди с высоким уровнем сознательного контроля отличаются от испытуемых с низким уровнем самоконтроля большими значениями рассогласования RR-ДПВ.

Таблица 2

**Значения среднеквадратичных отклонений разности RR и ДПВ(мс) в отведении «ухо» и их стандартных отклонений для двух групп испытуемых с разной выраженностью по шкале «самоконтроль» для разных этапов исследования**

Номер этапа	Группа	
	1	2
1	30,3±31,2	14,3±12,6
2	22,6±18,0	16,7±15,8
3	19±16,3	16,2±16,6

Группы также отличаются особенностями динамики СКО в зависимости от этапа исследования. Для испытуемых первой группы характерно постепенное снижение рассогласования в процессе последовательного перехода от одного этапа к другому. Представители второй группы демонстрируют другую картину: у них наблюдается низкий уровень СКО на начальном этапе, его дальнейшее увеличение в период напряжения и незначительное снижение при переходе к спокойному состоянию. Это позволяет предположить, что психофизиологические особенности, связанные со способностью

к произвольной регуляции, увеличивают степень рассогласования RR-ДПВ. Однако требуются дополнительные исследования на большей выборке, т.к. значимых различий (W) между показателями СКО в группах с разным уровнем склонности к самоконтролю обнаружено не было.

Для анализа связей СКО RR-ДПВ со степенью таких показателей физиологических процессов как вклад симпатического компонента вегетативной регуляции (LF), уровень напряжения регуляторных систем (ИН) и уровень активации подкорковых центров (ИАП) всех испытуемых разделили на группы по степени выраженности определенного показателя. В первую группу вошли добровольцы с высокими значениями по всем трем показателям, во вторую группу – испытуемые со средними значениями и в третью – испытуемые с низкими значениями данных показателей (табл. 3).

Степень выраженности вклада симпатического компонента вегетативной регуляции определяли на основе значений показателя LF: высокая степень выраженности симпатического влияния считалась для LF более 1500, средняя

Таблица 3

Номер этапа	Группа	Показатели		
		LF	ИН	ИАП
1	1	34,6±30,1	13,6±16,1	25,3±30,6
	2	22,3±26,8	22,3±25,3	16,5±15,8
	3	17,4±21,8	30,3±30,1	26±27,8
2	1	24,3±18,4	18±19,6	11,7±5,7
	2	22±18,4	21,3±18,1	20,5±20
	3	16,4±15,8	20,2±15,7	25,2±18,9
3	1	22,3±19,4	21,3±20,1	14,8±10,7
	2	14,2±11,5	13,7±12,9	16,2±20,3
	3	17,2±16,9	18,7±16,3	20,7±17,1

выраженность – для LF в пределах от 500 до 1500 и низкая степень выраженности – для LF менее 500. Разделение на группы испытуемых с разной степенью выраженности вклада симпатической системы представлено в третьем столбце табл. 3.

Значения среднеквадратичных отклонений разности RR и ДПВ (мс) в отведении «ухо» и их стандартных отклонений для групп испытуемых с разной выраженностью вклада симпатической системы (LF), напряжения регуляторных систем (ИН), активации подкорковых центров (ИАП) для разных этапов исследования.

Анализ показателей СКО, представленных в третьем столбце табл. 3, показал, что на каждом этапе в группе с высоким симпатическим тонусом обнаруживаются более высокие значения СКО, чем в двух других группах. Однако значимых различий (U) между группами обнаружено не было в виду малой численности испытуемых.

Кроме того, замечено, что у испытуемых с разным уровнем симпатического влияния наблюдается разная динамика СКО при переходе от одного этапа исследования к другому. Так, для группы с высоким уровнем симпатического влияния наблюдается постепенное снижение СКО при смене функционального состояния. Для испытуемых со средним уровнем симпатического вклада характерны одинаковые значения СКО на первом и втором этапе и их снижение на третьем этапе. Испытуемые с низкими значениями вклада симпатической системы характеризуются практически одинаковыми значениями СКО на всех этапах исследования.

Уровень напряжения регуляторных систем организма (ИН) связан с СКО

RR-ДПВ отрицательной связью. Для выявления вклада данной связи в вариабельность рассогласования длительности кардиоинтервалов по данным ЭКГ и ФПГ выборка была разделена на группы по степени выраженности уровня напряжения, которую определяли на основе значений показателя ИН (четвертый столбец табл. 3). В первую группу вошли испытуемые с высоким уровнем напряжения регуляторных систем, значения ИН которых составили более 200, вторая группа была сформирована испытуемыми со средним уровнем напряжения (значение ИН – от 100 до 200) и третья группа состояла из испытуемых с низким уровнем напряжения, для которых характерными были значения ИН менее 100.

Уровень напряжения регуляторных систем характеризуется разной динамикой в каждой из трех выделенных групп. Для группы с высоким уровнем напряжения наблюдается постепенное снижение значений СКО на протяжении трех этапов, что говорит о независимости степени рассогласования от функционального состояния. Испытуемые второй и третьей группы демонстрируют постепенное снижение ИН по мере перехода от одного этапа к другому. Разница между второй и третьей группой состоит в величине снижения. Для второй группы характерно большее снижение значения ИН при переходе из состояния напряжения к состоянию покоя, а для третьей группы – более значительным является переход от покоя к напряжению.

Группы формировали на основе разного уровня активации подкорковых центров, который определяли по показателю ИАП. В группу с высоким уровнем вошли испытуемые, у которых значение показателя ИАП было больше 1; во вто-

рую группу со средним уровнем активации вошли испытуемые со значением ИАП от 1 до 0,5; а третья группа было сформированна испытуемыми с низким уровнем активации подкорковых структур, для них ИАП составило менее 0,5. Данные динамики СКО для ИАП показаны в пятом столбце табл. 3.

В трех группах, выделенных по показателю ИАП, наблюдается различная динамика СКО в зависимости от этапа исследования. Испытуемые первой группы демонстрируют резкое снижение рассогласования (более чем в 2 раза) при переходе из спокойного состояния в состояние напряжения, и далее наблюдается небольшое увеличение СКО RR-ДПВ. Вторая группа характеризуется увеличением СКО в состоянии напряжения, а для состояния покоя до и после напряжения характерен одинаковый уровень рассогласования. Испытуемые третьей группы демонстрируют постепенное снижение СКО при последовательном переходе от стадии к стадии.

На основе проведенного анализа отдельно по каждому из показателей физиологических процессов можно говорить о том, что динамика СКО RR-ДПВ зависит от особенностей вегетативной регуляции. Тенденция увеличения СКО в группе с высоким симпатическим вкладом указывает на то, что высокий симпатический тонус связан с преимущественной регуляцией сердечной активности, но не сосудистой. Следовательно, больший вклад симпатической системы в общую регуляцию является фактором увеличения рассогласования RR-ДПВ. В то же время, низкое напряжение между симпатической и парасимпатической системами, которое обеспечивается низким напряжением подкорковых систем,

также приводит к большему рассогласованию между RR и ДПВ. Следовательно, снижение СКО RR-ДПВ может обеспечиваться высоким напряжением подкорковых центров вегетативной регуляции на фоне среднего или низкого влияния симпатической системы.

Можно также говорить о том, что уменьшение рассогласования между RR и ДПВ не зависит от функционального состояния, а, скорее, от общего времени пребывания в экспериментальной ситуации: чем дольше пребывания, тем ниже СКО RR-ДПВ. Значения рассогласования длительности кардиоинтервалов уменьшаются или увеличиваются независимо от динамики функционального состояния. И только для показателя напряжения подкорковых систем были обнаружены закономерные изменения СКО в зависимости от функционального состояния. При высоком напряжении подкорковых систем наблюдается снижение СКО в состоянии напряжения, а при среднем напряжении подкорки – увеличение рассогласования между RR и ДПВ по сравнению с состоянием покоя и до, и после напряжения.

### **Выводы**

1. Наименьшие значения рассогласования между данными ЭКГ и ФПГ по всем испытуемым были обнаружены для ушного отведения. Наилучший результат фиксации данных ФПГ от ушного датчика связан с тем, что по сравнению с пальцевым датчиком он находится ближе к сердцу, на мочке уха отсутствует выраженная хрящевая ткань. В отличие от артериального датчика, на «ухе» не наблюдается выраженных артефактов, связанных с глотанием, дыханием и речевой деятельностью.

2. В работе были рассмотрены факторы, влияющие на расхождение в длительности кардиоинтервалов по ЭКГ и ФПГ. Однозначного критерия для выделения групп с высокими показателями расхождения выявить не удалось. Однако на уровне тенденции было показано, что рассогласование между данными ЭКГ и ФПГ увеличивается в зависимости от следующих факторов: высокого уровня произвольного самоконтроля, высокого вклада симпатической системы, низкого уровня напряжения симпатической и парасимпатической системы, низкого уровня напряжения подкорковых вегетативных центров.

3. В целом, по всем испытуемым было выявлено, что величина рассогласования данных ЭКГ и ФПГ уменьшается в зависимости от этапа исследования и не зависит от функционального состояния.

### Список литературы

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р. М. Баевский [и др.]. - М., 2002.
2. *Малиновский Е.Л.* Оптимизация режимов физиотерапевтических процедур с использованием методики пальцевой фотоплетизмографии ([http://www.tokranmed.ru/litra/optiphtherapy\\_1.htm](http://www.tokranmed.ru/litra/optiphtherapy_1.htm)).
3. *Малиновский Е.Л.* Учебно-методическое пособие по использованию пальцевой фотоплетизмографии (<http://www.tokranmed.ru/metod/fpg.htm>).
4. *Русалов В.М.* Опросник структуры темперамента. - М.: Наука, 1990.
5. *Усенко А.Б., Кузьмина К.А.* Вегетативный баланс как природная предпосылка процессов психической саморегуляции [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. журн. – 2011. – № 3(17).
6. *Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н.* Трехмерная векторная модель функционального состояния нервной системы как теоретическая основа для диагностики состояния в условиях транскраниальной электрической и магнитной нейростимуляции // Биомедицина. – 2013. – № 3. – С. 18-25.
7. *Шурыгин И.А.* Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – М.: БИНОМ, 2000.
8. *Lazarus R.S., Folkman S.* Stress, appraisal and coping. – New York: Springer, 1984.

## The study of errors photoplethysmogram data for the analysis of heart rate variability by the method of R.M. Baevsky

M.I. Strigina, D.B. Chayvanov, Yu.A. Chudina

This article focuses on the applicability of photoplethysmogram for analysis of heart rate variability. Differences in cardiocycles variability on EEG and PPG were determined experimentally. There is dependence of heart rate variability on the functional status and psychological characteristics of subjects.

**Key words:** heart rate variability, photoplethysmographic, electrocardiography, state of the nervous system, psychophysiological characteristics.