

Исследование параметров биологических сигналов человека при различных факторах стресса

А. В. Евстафьева, Е. Д. Мельникова, Е. Е. Санникова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
nastena.evstafeva.99@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования параметров биологических сигналов человека при остром стрессе.

Рассматривались следующие параметры: систолическое артериальное давление, диастолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений, пульсовое давление, среднее давление.

Испытания проводились при предъявлении различных стрессовых факторов (как эмоциональных, так и физиологических). Предъявляемые стрессоры: звуковые (резкие звуки), визуальные (вспышка света, видео), поструральные нагрузки (качания).

Ключевые слова: артериальное давление; вариабельность сердечного ритма; стресс

I. ВВЕДЕНИЕ

Стресс является главной социальной проблемой, которая имеет влияние на стабильность поведения в организации и жизнь общества в целом. Для человека стресс стал обычным явлением, вследствие чего существенно снижается работоспособность, ухудшается здоровье, возрастает вероятность принятия неправильных решений, провоцируются конфликтные ситуации. Во избежание этого создается все больше подходов для оценки факторов, влияющих на стрессовый отклик человека, и технических решений, позволяющих регистрировать основные показатели, являющиеся маркерами стресса, для выявления стрессовых состояний, а в дальнейшем прогнозирования уровня стресса по этим показателям.

Частота сердечных сокращений (ЧСС) – это количество ударов сердца в минуту. Нормальная ЧСС у здорового человека равна от 60 до 100 ударов в минуту. Аритмии бывают двух видов: тахикардия и брадикардия [1].

Тахикардия – аритмия, характеризующаяся показателем ЧСС более 100 уд./мин. Выделяют два ее типа: физиологический (из-за стресса, испуга, физических упражнений) и патологический (из-за заболеваний) [1].

Однако не следует забывать об индивидуальных особенностях. У человека всю жизнь ЧСС может быть вне нормы, но при этом он будет нормально себя

чувствовать. Также следует иметь в виду спортсменов, у которых ЧСС, как правило, ниже нормы [1].

Показатель количества ударов сердца в минуту зависит от пола и возраста человека.

Точные значения изменения ЧСС при стрессе отсутствуют, но ЧСС увеличивается.

Артериальное давление (АД) – давление, которое оказывает кровь на стенки артерий. В систолу, при сокращении сердца, давление увеличивается. А в диастолу, когда сердце расслабляется и наполняется кровью, давление в артериях уменьшается. Давление крови в систолу называют «верхним» или систолическим, а в диастолу – «нижним», диастолическим [2].

Давление также может быть выше или ниже нормы (гипер- и гипотония, соответственно), зависит от пола, возраста человека, времени суток и др.

Также величина АД может меняться при стрессе, под воздействием физических нагрузок, переутомления [2].

Стресс влечет за собой повышение давления, но точные количественные значения индивидуальны.

В данной работе предлагается провести оценку взаимосвязи уровня стресса человека по изменению таких параметров как частота сердечных сокращений (далее ЧСС) и артериального давления (далее АД).

II. ОПИСАНИЕ ИСПЫТАНИЙ

A. Необходимые материалы и оборудование

Приборы подключаются к персональному компьютеру, оснащеному специальным ПО.

Так, использовалась программа КТ-SAKR для регистрации, обработки, анализа и отображения в режиме реального времени снимаемых сигналов.

Для предъявления испытуемым визуального фактора стресса (видеозаписей) использовался монитор ноутбука. Также для воздействия звуковым фактором стресса использовались полноразмерные наушники.

Использовалась также КАРДИОТЕХНИКА-САКР-И. САКР-И – носимый регистратор, разработанный компанией «ИНКАРТ» для измерения АД на каждом

сердечном сокращении методом разгруженной артерии синхронно с регистрацией и анализом ЭКГ в 12 отведениях [2].

Схема проведения исследования с использованием КАРДИОТЕХНИКИ-САКР-И представлена на рис. 1.

В данной работе снималось первое отведение ЭКГ, сигнал ФПГ (с указательного пальца левой руки), давление по Пеньязу (со среднего пальца левой руки), производилось автоматическое манжеточное измерение давления с правой руки (раз в 5 мин). Сигнал ФПГ использовался как опорный для определения ЧСС, если автоматическая разметка программой по ЭКГ имела ошибки.

Для проведения испытаний с поструральными нагрузками для определения физиологического стресса использовался автоматизированный поворотный стол СА-03 со средствами дистальной фиксации конечностей [3], обеспечивающий режимы динамической ориентации-перемещения человека в пространстве.

Также для подачи аудиозаписей или обеспечения звука видеозаписей использовались полноразмерные закрытые наушники.

В качестве источника света использовался фонарик.

Для предъявления аудио- и видео-стимулов были разработаны специальные материалы, подробнее о которых написано в условиях проведения испытаний.

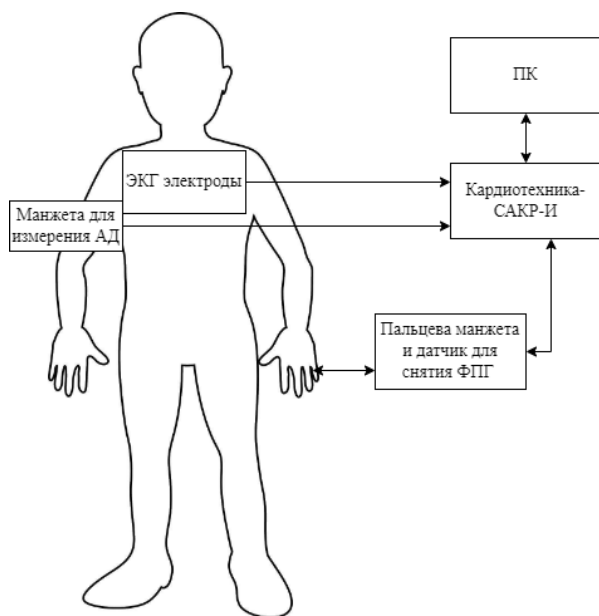


Рис. 1. Схема проведения исследования с использованием кардиотехники САКР (входы прибора)

В. Методология

Для проведения данных испытаний отобрана группа людей (студентов) одного возраста (22–23 года), в исследованиях участвовали 3 юноши и 3 девушки, т. е. по данному критерию выборку можно считать равновесной. Малый объем выборки связан с ограниченными ресурсами, в т. ч. временными.

Проведено три испытания с каждым человеком. Необходимо выявить изменения сигналов при предъявлении различных факторов стресса. При этом испытуемым заранее объяснялись цель и ход проведения испытаний, но материалы предъявлялись по одному разу, чтобы не вызвать привыкания к стрессу.

Первое испытание проводилось по протоколу №1 (табл. I), предъявлялись общие факторы стресса. Запись производилась в положении сидя. Сначала проводилась запись нормы сигналов, затем норма чередовалась с факторами стресса. Следовал резкий громкий звук (неожиданный хлопок в ладони рядом с испытуемым). Затем вспышка света в глаза. Видео №1 рассчитано на постепенное нарастание стресса посредством звуков и видеорядом, нет резких моментов. Видео №2: после нейтрального фона резко следуют неприятные кадры, в частности, изображение ожогов. Видео №3: неприятные кадры с относительно резкими моментами и резкими звуками; вставка с так называемым скримером.

Следует отметить, что в видео не использовались сцены насилия или что-то, способное оказать длительное влияние на психику испытуемых. Подборка создавалась человеком, не задействованным в исследованиях, поэтому фактор привыкания к стрессу и ожидание испытуемыми конкретных материалов можно исключить.

Второе испытание проводилось по протоколу №2 (табл. II). В данном случае записи сигналов производились лежа. Сначала следует запись нормы, затем на человека оказывают влияние нагрузки, связанные с изменением положения тела испытуемого, т.е. происходят качания (тело приводят в ортостаз и антиортостаз на угол $\pm 15^\circ$ от горизонтального положения, соответственно). Затем также следует вторая запись нормы, т. е. без оказания внешних воздействий.

ТАБЛИЦА I. Протокол исследований №1

Время (интервал)	Информация (событие)
5 мин	Калибровка
	Старт
5 мин	Запись Нормы
	Хлопок
1 мин	Запись
	Вспышка
3 мин	Запись (надевание наушников)
2 мин 55 с	Видео №1
2 мин	Запись
30 с	Видео №2
5 мин	Запись
22 с	Видео №3
5 мин	Запись
	Конец

Положение тела: сидя

ТАБЛИЦА II. Протокол исследований №2

Время (интервал)	Информация (событие)
5 мин	Калибровка
	Старт
5 мин	Запись Нормы
	Качания
10 мин	Угол отклонения: $\pm 15^\circ$, период T=30 с
5 мин	Запись
	Конец

Положение тела: лежа

Целью третьего испытания являлось исследование индивидуальных факторов стресса, поэтому единого протокола не приведено. У каждого испытуемого сначала производилась запись нормы в положении сидя, затем предъявлялись факторы стресса различного рода.

Возможные факторы стресса: разговоры на неприятные темы; видео с изображением стрессора или которое вызовет у испытуемого страх (так, присутствовал испытуемый с фобией пауков); неприятные звуки (пенопласта по стеклу, сирен, скрежета металла) или изображения (видеоряд со скрежетом ногтей по доске), нарушение границ личного пространства (объятия).

Длительность записей по третьему протоколу варьировалась от 16 до 32 мин.

После каждого испытания испытуемым предъявлялись анкеты, в которых они оценивали оказание на себя влияния каждого фактора стресса.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе сигналов рассматривались данные ЧСС, ДАД, САД, среднего АД и ПД. Для начала из выборки убираются выбросы; потом производится разметка на эпохи (различные отрывки записи, соответствующие определенным событиям, стадиям испытаний).

Далее для «Нормы» (спокойное состояние испытуемого) берутся средние значения, а для «Стресс» (при предъявлении фактора стресса) – максимальные. Т. к. к стрессу с течением времени человек привыкает и его реакция снижается, а в проводимых исследованиях стресс незначительный, то для состояния «Стресс» брались максимальные значения сигналов. Теоретически известно, что при стрессе ЧСС и АД возрастают. По поводу ПД сказать такого нельзя, поэтому нужно отметить, что анализ ПД во время стресса требует доработки.

Отрывки между предъявлениями факторов стресса не рассматриваются или анализируются вручную, т.к. могут содержать в себе и отрывки, относящиеся к «Норме» (испытуемый между предъявлениями факторов стресса полностью находится в норме) или к «Стрессу» (испытуемый не успел прийти в норму, обдумывает или находится под впечатлением от фактора стресса).

Приведем описание обработки и некоторых выводов по каждому протоколу испытаний.

В данном разделе в основном рассматривается общий анализ данных, выявление значимых параметров

ТАБЛИЦА III. Данные по протоколу №1 для одного испытуемого

ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД	Событие	Оценка
78	108	53	72	54	Норма	0
87	129	64	85	66	Хлопок	2
109	131	69	90	66	Вспышка	1
135	126	64	85	65	Видео 1	3
100	129	62	84	69	Видео 2	1
127	133	82	87	72	Видео 3	1

«Оценка» – оценка стрессора испытуемым по шкале от 0 до 10. Единицы измерения: ЧСС – уд./мин; САД, ДАД, АД ср., ПД – мм рт. ст.

определения стресса, определение влияния различных факторов стресса на испытуемых.

ТАБЛИЦА IV. СХОЖДЕНИЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ СТРЕССА ИСПЫТУЕМЫХ И ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ ПО ВСЕМ ПАРАМЕТРАМ, ИСПЫТАНИЕ ПО ПРОТОКОЛУ №1

Max	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	11	5	1	2	2	1
Нет	19	1	5	4	4	5
Min	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	16	2	4	4	2	0
Нет	14	4	2	2	4	0
Всего	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	27	9	3	6	6	3
Нет	24	3	9	6	6	9

Единицы измерения: ЧСС – уд./мин; САД, ДАД, АД ср., ПД – мм рт. ст.

A. Обработка результатов по протоколу №1

В табл. III приведены рассматриваемые значения параметров в различные фазы исследований у первого испытуемого в качестве примера.

По данным испытаний по протоколу №1 можно сделать вывод, что для всех испытуемых любой стресс по всем показателям имеет значение больше нормы.

В табл. IV рассматривается, насколько данные сигналов совпадают с собственными оценками уровня стресса испытуемых, проводится эмпирический анализ.

Так, в первом столбце указано условие. Условие «Max» говорит о том, совпадают ли факторы стресса, обозначенные испытуемыми как оказавшие самое большое влияние (самые страшные или неприятные), и максимумы сигналов по различным параметрам (ЧСС, ДАД, САД, АД ср., ПД и «всего» – по всем параметрам в сумме). Также отмечено, какой параметр сходил (значения сигналов и оценки испытуемых совпадали) больше и меньше всего.

Условие «Min» – аналогичный анализ, но для случаев совпадения факторов стресса, имеющих наименьшую оценку испытуемым и минимумов сигнала.

Условие «Всего» – сводная таблица по первым двум условиям. Больше всего стресс отражает ЧСС, меньше всего – САД и ПД. При этом для наибольших факторов стресса оценка и сигналы сходятся больше всего по ЧСС, а меньше всего – по САД и ПД. Для наименее значимых факторов стресса оценка и сигналы сходятся больше по САД и ДАД, и меньше всего – по ЧСС и среднему АД.

ТАБЛИЦА V. СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРА СТРЕССА

Наибольшее влияние, по оценке	Наибольшее влияние, по сигналам
Видео №3	Видео №3
Эмоциональный	Эмоциональный
Наименьшее влияние, по оценке	Наименьшее влияние, по сигналам
Видео №2	Вспышка света
Эмоциональный	Физиологический

Также больше, чем в половине случаев оценки стресса испытуемыми и значения сигналов сходятся.

В табл. V отображено, какие конкретные факторы стресса и какие типы факторов (эмоциональный или психологический) оказывают наибольшее влияние на испытуемых, какие – наименьшее. По данным этой таблицы можно сделать предварительный вывод о том, что эмоциональный стресс оказывает наибольшее влияние на человека (что следует и из оценки самого испытуемого, и из значений сигналов).

В. Обработка результатов по протоколу №2

Данные для обработки по первому испытуемому приведены в табл. VI.

Можно сделать вывод о том, что значения всех параметров при качаниях увеличивались.

Притом норма после качаний по всем параметрам у испытуемых значительно изменялась, но данные изменения у каждого испытуемого индивидуальны (у кого-то значения каких-то параметров увеличиваются, у кого-то уменьшаются). В данной работе не исследуется влияние качаний на сигналы, таблицы анализа данного факта также не приводятся.

С. Обработка результатов по протоколу №3

В основном факторы стресса, предъявляемые испытуемым, должны были вызвать эмоциональный стресс.

В табл. VII приведены рассматриваемые значения параметров в различные фазы исследований у различных испытуемых. Можно сделать вывод, что значения всех сигналов при стрессе выше, чем при норме.

В табл. VIII рассматривается, насколько данные сигналов совпадают с собственными оценками уровня стресса испытуемых.

Делается этот анализ аналогично анализу по протоколу 1.

По табл. VIII можно сделать вывод, что больше всего стресс отражает ПД и САД, меньше всего – ЧСС, что полностью противоположно данным, полученным по протоколу 1. Возможно, различные уровни стресса по-разному отражаются на параметрах сигналов.

ТАБЛИЦА VI. ДАННЫЕ ПО ПРОТОКОЛУ №2 ДЛЯ ПЕРВОГО ИСПЫТУЕМОГО

ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД	Событие
78	108	53	72	54	Норма
87	129	64	85	66	Качания

Единицы измерения: ЧСС – уд./мин; САД, ДАД, АД ср., ПД – мм рт. ст.

ТАБЛИЦА VII. ДАННЫЕ ПО ПРОТОКОЛУ №1 ДЛЯ ОДНОГО ИСПЫТУЕМОГО

ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД	Событие	Оценка
68	105	70	82	32	Норма	0
84	113	74	86	41	Фактор 1	6
82	112	75	87	40	Фактор 2	7
74	110	75	86	37	Фактор 3	3
89	114	77	89	38	Фактор 4	2

«Оценка» - оценка стрессора испытуемым по шкале от 0 до 10. Единицы измерения: ЧСС – уд./мин; САД, ДАД, АД ср., ПД – мм рт. ст.

ТАБЛИЦА VIII. СХОЖДЕНИЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ СТРЕССА ИСПЫТУЕМЫХ И ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ ПО ВСЕМ ПАРАМЕТРАМ, ИСПЫТАНИЕ ПО ПРОТОКОЛУ №3

Max	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	16	3	3	3	3	4
Нет	9	2	2	2	2	1
Min	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	16	2	4	3	3	4
Нет	9	3	1	2	2	1
Всего	Всего	ЧСС	САД	ДАД	АД ср.	ПД
Да	32	5	7	6	6	8
Нет	18	5	3	4	4	2

Единицы измерения: ЧСС – уд./мин; САД, ДАД, АД ср., ПД – мм рт. ст.

При этом для наибольших факторов стресса оценка и сигналы сходятся больше всего по ПД, а меньше всего – по всем остальным в равной степени. Для наименьших (менее значимых) же факторов стресса оценка и сигналы сходятся больше по САД и ПД, и меньше всего – по ЧСС.

Притом также можно сделать вывод о том, что больше, чем в половине случаев оценки стресса испытуемыми и значения сигналов сходятся, и в процентном соотношении в протоколе 3 они сходятся больше, чем в протоколе 1. Причиной этого может служить индивидуальный подбор факторов стресса для испытуемых.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы разработано три протокола исследования, описаны используемые приборы (главным образом, САКР и поворотный стол) и выборка испытуемых. В общей сложности на базе ФГБНУ ИЭМа было проведено 18 испытаний на тему исследования стресса.

Данные проанализированы, сделаны некоторые общие выводы по возможности использования тех или иных показателей для определения состояния стресса у людей.

На основе проведенных испытаний можно провести исследования на тему привыкания человека к стрессу; более четко исследовать влияние на испытуемых различных факторов стресса и индивидуальные реакции организма.

Отдельного внимания заслуживают поструральные нагрузки, смена положения человека в пространстве на механургическом столе. Данная нагрузка влияет на местное кровоснабжение организма. Также было отмечено сильное изменение сигналов в норме (в лежачем положении) до и после качаний на столе, при

этом у различных испытуемых характер изменения каждого параметра неодинаков.

Проведенная работа требует более подробного анализа сигналов, расширения выборки людей и увеличения количества проводимых испытаний (в т. ч. составления новых протоколов).

Требуется исследование того, какие параметры могут быть использованы для оценки стресса, можно ли использовать не САД и ДАД, а среднее и/или пульсовое АД, которые являются расчетными от вышеуказанных. Также в других исследованиях могут использоваться статистические расчеты параметров разностей значений при норме и стрессе (абсолютное и относительное, медиана, среднее, максимум, минимум).

Следует исследовать возможности определения стресса по частотному анализу variability сердечного ритма; по variability артериального давления (ВАД) как по отклонению от среднего уровня за определенный промежуток времени. ВАД можно рассматривать как коэффициент вариации – результат деления стандартного отклонения на среднее значение АД.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность лаборатории физиологии биоуправления, отделу экологической физиологии, ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» за оказанную помощь при проведении данного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Какой должна быть ЧСС у взрослого человека: норма для разных возрастов и 10 причин отклонения от нормы. URL: <https://www.apteka24.ua/blog/zdorove-semi/kakoj-dolzha-byt-chss-u-vzroslogo-cheloveka-norma-dlya-raznykh-vozrastov-i-10-prichin-otkloneniya-ot-normy/> (дата обращения: 26.11.2022)
- [2] СПб ГБУЗ "Поликлиника № 98". URL: <http://p-98.ru/komu-zachem-i-kak-nuzhno-izmeryat-arterialnoe-davlenie/> (дата обращения: 26.11.2022)
- [3] ИНКАРТ // Регистраторы «КАРДИОТЕХНИКА-САКР». URL: <https://www.incart.ru/production/sakr/?ysclid=laoe3riy6t887285367> (дата обращения: 24.11.2022)
- [4] Сергеев Т.В., Агапова Е.А., Анисимов А.А. и др. Комплексное исследование физиологических реакций организма человека на сложные постральные воздействия // Медицинский академический журнал, 2021. Т. 21. № 4. С. 31–46.