

Разработка программного модуля для определения стресса по variability сердечного ритма и variability артериального давления

Е. Е. Санникова, А. В. Евстафьева, Е. Д. Мельникова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
lizasann00@gmail.com

Аннотация. В данной работе проведена разработка программы для определения уровня стресса по variability сердечного ритма и variability артериального давления. Пороговые значения для программы рассчитаны эмпирически на основе обработки сигналов. Данные сигналы были получены в ходе испытаний проведенных на базе ФГБНУ ИЭМ. Реализация алгоритма произведена с помощью языка программирования Python.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, физиологический стресс, психологический стресс, variability сердечных сокращений

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время понятие «стресс» все чаще рассматривается, как лидирующий фактор риска развития большинства заболеваний сердечно-сосудистой, пищеварительной, а также других систем органов. Состояние стресса является реакцией организма на раздражители, либо изменение внешних условий, которые требуют от человека адаптации. Стресс представляет собой состояние повышенной напряженности, однако так же его можно считать механизмом адаптации организма к изменяющимся условиям среды. При длительной работе механизмов адаптации, начинает нарушаться саморегуляция организма, что приводит к различным заболеваниям [1].

С точки зрения физиологии стресс – биологический механизм, связанный с выбросом в кровь гормонов. Если внешнее воздействие классифицируется корой головного мозга как угрожающее нормальному состоянию организма, возбуждение по цепи нейронов проходит в гипофиз и гипоталамус. Гипофизарные клетки вырабатывают адренокортикотропный гормон, в результате активируется кора надпочечников. Они продуцируют и выбрасывают в кровь гормоны стресса – кортизол и адреналин.

Различают несколько стадий стресса:

Первая стадия – это стадия тревоги, реакция на стрессовый фактор, когда сигнал бедствия посылается в гипоталамус. Гипоталамус обеспечивает высвобождение

гормонов глюкокортикоидов. Последние запускают выброс адреналина и кортизола. Адреналин дает человеку заряд энергии: сердечный ритм увеличивается, кровяное давление повышается, уровень сахара крови также повышается. Эти физиологические изменения регулируются частью вегетативной нервной системы человека, называемой симпатической ветвью [2].

Надпочечники начинают активно вырабатывать повышенное количество кортизола, и находятся в состоянии гиперфункции. Высокий уровень кортизола способствует повышению уровня глюкозы, ослаблению работы иммунной системы; эти процессы направлены на сохранение энергии в организме, которая в свою очередь будет направлена на борьбу со стрессовым фактором. В ответ на повышение уровня глюкозы в дело вступает инсулин, который начинает снижать концентрацию сахара и возвращать его обратно в состояние запасов. Данные процессы позитивно влияют на организм только при кратковременном стрессе. При хроническом стрессе такая циркуляция переходит в своеобразный порочный круг, в котором важно, какого гормона вырабатывается больше. При хорошей работе надпочечников и слабой поджелудочной вырабатывается много кортизола и мало инсулина, что приводит к резкому похудению. Если кортизола вырабатывается мало, а инсулина много, человек, напротив, набирает вес [1, 2].

Задача кортизола и адреналина – аккумулировать все возможные силы организма и направить их на то, чтобы справиться со стрессовым фактором.

Второй стадией является стадия сопротивления. Во время этой стадии организм пытается противодействовать физиологическим изменениям, которые произошли во время стадии реакции тревоги. Стадия сопротивления регулируется парасимпатической частью вегетативной нервной системы [2].

Парасимпатическая нервная система пытается вернуть тело в норму: уменьшается количество вырабатываемого кортизола, частота сердечных сокращений и артериальное давление начинают возвращаться к норме. Уровень сопротивляемости организма значительно выше обычного. Организм

сохраняет уровень «повышенной готовности». На этой стадии осуществляется сбалансированное расходование адаптационных ресурсов [2].

Если стрессовая ситуация заканчивается на этапе сопротивления, то тело возвращается в нормальное состояние. Однако, если стрессогенный фактор остаётся, организм остаётся настороже, чтобы бороться с его проявлениями [1, 2].

Третьей стадией является стадия истощения. На этом этапе стресс сохраняется в течение длительного периода. Организм начинает терять способность бороться со стрессором и уменьшать его вредное воздействие, поскольку именно на этой стадии адаптационные механизмы организма, физиологические и психологические ресурсы начинают истощаться. Стадия истощения может приводить к стрессовым перегрузкам и к проблемам со здоровьем, если они не будут решены немедленно.

Стадия истощения проявляется следующими симптомами: повышенная утомляемость, снижение настроения, депрессия, повышенная заболеваемость, неспособность решать проблемы быстро и эффективно и др. Длительное повышение кортизола в организме человека приводит к замедлению процессов заживления, активации воспалительных процессов, обострению хронических заболеваний, снижению выработке коллагена, быстрому старению [1, 2].

В этой стадии надпочечники больше не способны адаптироваться к стрессу и исчерпали свои функциональные возможности [1].

II. ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ СТРЕССЕ

Рассмотрим изменение используемых в работе биологических сигналов при стрессе:

1) Частота сердечных сокращений (ЧСС) – это количество ударов сердца в минуту. Нормальная ЧСС у здорового человека равна от 60 до 100 ударов в минуту. Однако с возрастом и при некоторых заболеваниях этот показатель может меняться. Такие изменения называются аритмией и бывают двух видов: тахикардия (больше 100 ударов в минуту) и брадикардия (меньше 60 ударов в минуту) [1].

Однако не следует забывать об индивидуальных особенностях организма. У человека всю жизнь ЧСС может быть менее 60 ударов в минуту или более 100, но при этом он будет нормально себя чувствовать. Также следует упомянуть и о спортсменах – у них из-за образа жизни и усиленной физической подготовки частота сердечных сокращений может отличаться от показателя нормы (как правило, в меньшую сторону) [1].

Показатель количества ударов сердца в минуту обусловлен индивидуальными особенностями, полом, возрастом, а также может быть признаком отклонений, говорящих об ухудшении состояния здоровья. Точные значения изменения ЧСС при стрессе отсутствуют.

2) Артериальное давление (АД) – давление, которое оказывает кровь на стенки артерий. Оно неравномерно и колеблется в зависимости от фазы работы сердца. В систолу, когда сердце сокращается и выбрасывает в сосуды очередную порцию крови, давление увеличивается. А в диастолу, когда сердце расслабляется и наполняется кровью, давление в артериях уменьшается. Давление крови на стенки артерий в систолу называют «верхним» или систолическим, а в диастолу – «нижним» или диастолическим [2].

АД – один из важнейших показателей работы сердечно-сосудистой системы. У большинства здоровых людей он относительно постоянен. Но под воздействием стрессов, физических нагрузок, переутомления, употребления большого количества жидкости и под влиянием других факторов его величина может меняться [2].

Показатели нормального артериального давления для разных возрастных периодов:

- 16–20 лет – 100/70–120/80 мм рт. ст.;
- 20–40 лет – 120/70–130/80 мм рт. ст.;
- 40–60 – до 140/90 мм рт. ст.;
- старше 60 лет – до 150/90 мм рт. ст. [3, 4].

Точные значения изменения АД при стрессе отсутствуют.

III. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СИГНАЛЫ

Для проведения данных испытаний была 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.

Было проведено три испытания с каждым человеком. При этом испытуемым заранее объяснялись цель и ход проведения испытаний, но материалы предъявлялись по одному разу.

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

Все испытания проводились на базе федерального государственного бюджетного научного учреждения института экспериментальной медицины (ФГБНУ ИЭМ).

IV. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

В ходе проведения исследований были получены значения следующих физиологических параметров: ЧСС (частоты сердечных артериального давления), среднее АД (сокращений), ДАД (диастолического артериального давления), САД (систолического (артериальное давление) и ПД (пульсовое давление).

ТАБЛИЦА I. Полученный эмпирически порог

Среднее разностей между параметрами сигналов при стрессе и норме	ЧСС	САД	ДАД
Полученный порог, %	43,14	32,64	43,95

В работе рассматриваются только значения ЧСС, ДАД и САД, так как именно по этим показателям можно было проследить явную закономерность между стрессом и изменением физиологических параметров.

Для включения показателей среднего АД и ПД требуются дополнительные более детальные исследования.

Для разработки алгоритма, определяющего уровень стресса, были рассчитаны пороговые значения.

Для каждого протокола по каждому испытуемому по каждому параметру рассчитывалась разность между нормой и стрессом в случае каждого отдельного фактора стресса. Затем среди различных факторов стресса брались минимальная разность, максимальная, средняя и медиана.

В качестве основных порогов рассматривались значения процентов (отношения стресса к норме) по параметрам, усредненные по всем факторам стресса всех испытуемых по всем протоколам испытаний. Среди полученных параметров (медиана, минимальное и максимальное отношения, среднее отношений) для порога для программы рассматриваем среднее значение.

В табл. I представлены процентные значения полученных эмпирически, в ходе испытаний, порогов.

Далее полученные результаты делились на классы, т.е. следующие состояния человека: «Отсутствие стресса», «Незначительный стресс», «Средний стресс» и «Высокий стресс».

Эти классы представлены в табл. II.

ТАБЛИЦА II. Классы состояния человека

Класс	Значение от порога «а»
Отсутствие стресса	Менее 0,5а
Незначительный стресс	От 0,5а до а
Средний стресс	От а до 1,5а
Сильный стресс	Более 1,5а

Критерии для разграничения классов («значение от порога «а») выбраны эмпирически, основываясь на общих данных, полученных при проведенных испытаниях.

В качестве класса «Отсутствие стресса» рассматривается диапазон, когда параметры меньше половины рассчитанного порога (порог в % * 0,5). Выбор данного значения основан на рассмотрении наименьших значениях параметров стресса, полученных в ходе испытаний. При этом рассчитываемое значение может быть и отрицательным (если текущее значение меньше значения стресса).

В качестве класса «Незначительный стресс» рассматривается диапазон от половины полученного порога до значения порога (от «порог в % * 0,5» до «порог в %»).

К классу «Средний стресс» относится диапазон от до значения полученного порога до полуторного значения порога (от «порог в %» до «порог в % * 1,5»).

Класс «Высокий стресс» присваивается при значении параметров выше полуторного значения полученного порога (от «порог в % * 1,5»).

В рамках данной работы создается программа, которая по заданным (в текстовом файле) значениям определяет наличие у человека стресса и его степень (также см. табл. II).

Программа находит разницу между текущими значениями ЧСС, САД и ДАД, и нормальными значениями данных трех параметров, затем находит отношения этой разности к нормальному значению.

Далее программа сравнивает рассчитанные значения с рассчитанными выше эмпирическими пороговыми и выдает вердикт о наличии или отсутствии у испытуемого стресса.

Алгоритм работы программы в виде блок-схемы представлен на рисунке 1.

Стоит отметить, что выше данные пороги представлены в процентах (%), табл. I и табл. II), в дальнейшем же (на рис. 1) – в виде десятичных дробей.

Основой работы алгоритма является выполнение или не выполнение условий попадания в границы порогов рассчитанных значений увеличения показателей.

В зависимости от попадания в различный диапазон значений было выделено 4 типа реакции: «Нет стресса», «Незначительный стресс», «Средний стресс», «Сильный стресс» (вывод программой информации).

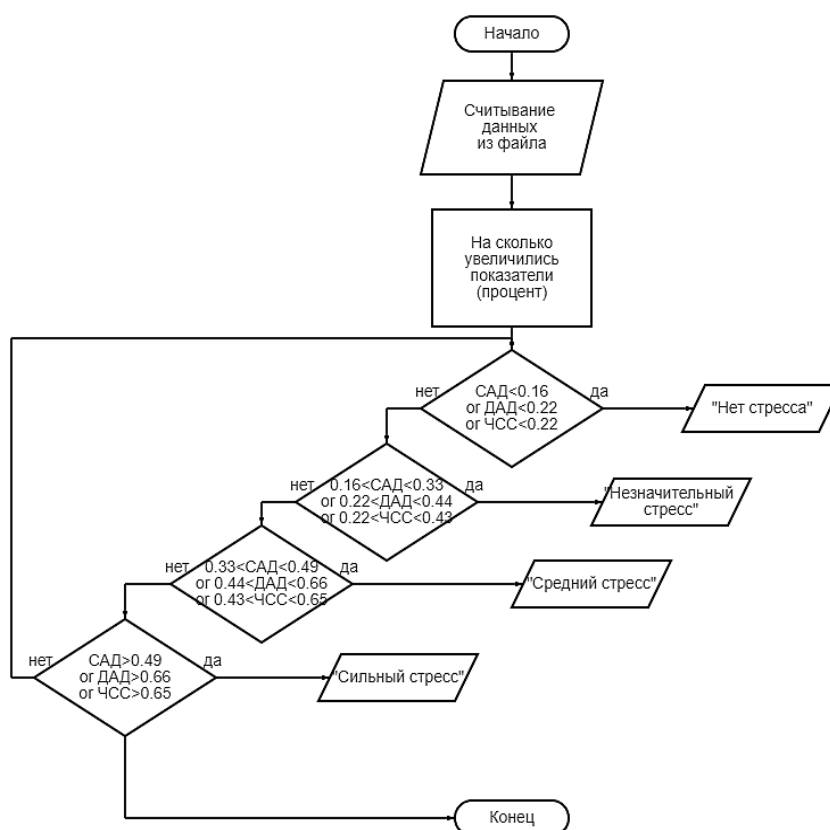


Рис. 1. Алгоритм работы программы

На рис. 2 представлен интерфейс разработанной программы.

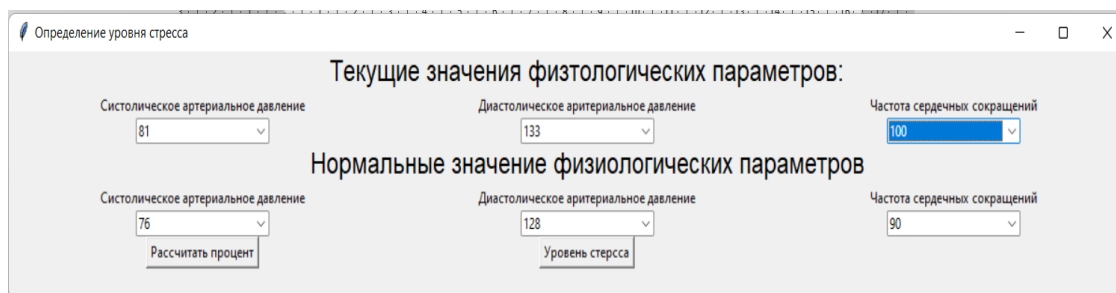


Рис. 2. Интерфейс программы

В будущем текущие значения параметров можно будет получать непосредственно с прибора в режиме реального времени, а нормальные значения будут рассчитываться как усредненные значения у конкретного пользователя, т.е. индивидуально.

Таким образом, данные исследования дают перспективы разработки программы для носимого устройства наподобие фитнес-часов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБНУ институт экспериментальной медицины за помощь в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Психология стресса: виды, стадии, способы борьбы // МИИН URL: <https://miin.ru/blog/psikhologiya-stressa/> (дата обращения: 10.02.2023).
- [2] Артериальное давление – норма и патология. URL: <https://mgb1-74.ru/novosti/124--arterialnoe-davlenie-norma-i-patologiya.html> (дата обращения: 26.11.2022)
- [3] Немирко А.П., Манило Л.А., Калиниченко А.Н. Математический анализ биомедицинских сигналов и данных. М.: Физматлит, 2017. с. 31–35.
- [4] Болсунов К.Н., Семенова Е.А. Автоматизация биомедицинских исследований. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2020. с. 17–19.