

УДК 577.3

Анализ биофизических характеристик по результатам обработки полиграмм

Н.Н. Минакова

Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

Analysis of Biophysical Characteristics Using the Results of Polygrammes Processing

N.N. Minakova

Altai State University (Barnaul, Russia)

В работе предложен инструментарий, позволяющий дополнительно исследовать биофизические характеристики человека, измеряемые с помощью полиграфа. Анализировались кожно-гальваническая реакция, сигналы верхнего и нижнего дыхания, фотоплетизмограмма, дрожание (тремор). Исследование биофизических характеристик выполнялось по результатам численных экспериментов, для которых использовались данные полиграмм.

Апробация предложенного инструментария показала, что с его помощью можно выделить дополнительные данные и проанализировать их для решения практических задач.

Применение преобразования Фурье к спектру фотоплетизмограммы позволило выявить области частотного рассогласования.

Применение метода главных компонент позволило выявить признак «стресс — отсутствие стресса» даже без повышенной реакции на внешнее воздействие. Установлено, что в рамках многомерного анализа данных обработку полиграмм необходимо выполнять индивидуально для каждого конкретного человека, что позволяет учесть его психологические особенности.

Сделан вывод о том, что изучение результатов измерений биофизических характеристик, представленных на полиграммах, с помощью метода главных компонент дает возможность выполнять экспресс-анализ стрессоустойчивости человека, выявлять возможные сбои в физико-химических процессах.

Ключевые слова: биофизические характеристики, полиграммы, электропроводность, сигналы, фотоплетизмограмма, многомерный анализ данных, метод главных компонент.

DOI 10.14258/izvasu(2017)1-05

В современных условиях изучение биофизических характеристик, связанных с жизнедеятельностью человека, ведется очень интенсивно. Их анализ пред-

In this paper, a toolkit for additional analysis of biophysical characteristics measured by a polygraph is proposed. The galvanic skin response, signals of the upper and lower breathing, photoplethysmogram and tremor are analyzed. The study of biophysical characteristics is conducted with numerical simulation experiments using polygrammes data.

Practical evaluation of the proposed toolkit demonstrates its ability to retrieve the additional data and perform an analysis.

Areas of a frequency mismatch are identified with the Fourier transformation applied to a photoplethysmogram spectrum.

Principal component analysis is utilized to identify the “stress/no stress” feature when there is no hyperreaction to external disturbance. It is confirmed that polygrammes data should be processed for each person individually due to consideration of psychological characteristics of that person.

It is concluded that study of biophysical characteristics retrieved from polygrammes with primary component analysis is helpful for human stress resistance express analysis and allows to reveal potential failures of body physicochemical processes.

Key words: biophysical characteristics, polygrammes, conductivity, signals, photoplethysmogram, multivariate data analysis, principal component analysis.

ставляет интерес не только для медицины. В системах защиты информации анализируются структура радужной оболочки глаза, голосовые сигналы, термограмма

лица и т.д. [1]. При подборе сотрудников, выявлении инцидентов в информационных системах и других нежелательных действий используется полиграф, который, как известно, применяется для распознавания ложных ответов [2]. Вопросы можно воспринимать как возмущающие факторы разной интенсивности. Распознавание выполняется на основе анализа реакции человека на ложные ответы, связанные с изменением физико-химических процессов при воздействии раздражающего фактора. Изучаются сигналы от первой реакции и сигналы последствия.

Интерес для исследования состоял в следующем: изучив характеристики, регистрируемые полиграммами, нужно было выделить дополнительные данные, необходимые для решения практических задач.

В основу решения поставленной задачи положена следующая гипотеза: необходимо смоделировать ситуацию «тренированной молодежи», при работе с которой, согласно исследованиям, полиграф часто дает некорректные результаты [2]. Считается, что молодежь может с легкостью «обмануть» полиграф, так как не задумывается о последствиях возможного разоблачения, то есть и не имеет так называемого «страха перед полиграфом». Эксперимент строился на вопросах, содержание которых не могло вызвать стремление человека сохранить ответы в тайне. В этом случае заведомо ложный ответ можно считать слабым раздражающим фактором.

Использовался полиграф «Эпос-7». Применялся метод контрольных вопросов. Измерялись:

- кожно-гальваническая реакция (КГР);
- фотоплетизмограммы;
- частота и амплитуда дыхания;
- появление тремора (дрожь).

Физическая основа применения полиграфа известна [2]. Все важнейшие органы и системы человека имеют собственные временные электрические и электромагнитные ритмы. Сигналы, имеющие место при измерении указанных выше биофизических характеристик, изменяются различным образом: по скорости, амплитуде и т.д. Например, дыхательные сигналы в состоянии тревоги могут убыстряться. Изменяется продолжительность вдоха и выдоха: пики выдоха более округлые, пики вдоха — заостренные. При возбуждении изменяется величина кровяного давления, частота сердечных сокращений. Фотоплетизмограммы регистрируют кровенаполнение в периферических сосудах [3]. Волны второго и третьего порядка относятся к медленным колебаниям. Волны 1-го порядка относятся к быстрым волнам и соотносятся с пульсом. Они отражают движение объема крови в измеряемой точке во время систолы и диастолы [3, 4].

На полиграммах фиксируется физическая и тоническая составляющие кожно-гальванической реакции. В первом случае анализируется быстротекущий процесс — ответ на короткий (ситуационный) раздражитель. Анализируется амплитуда, длительность, многопиковость (например, двугорбость). Вторая компонента — отклик на медленное изменение кожного сопротивления, связанного с отражением глубинных процессов реагирования в центральной нервной системе [4].

Прибор «Эпос-7» содержит встроенный математический аппарат, обрабатывающий измеряемые сигналы. Однако для поиска новых закономерностей необходимо было предложить дополнительный инструментарий для обработки полиграмм.

Оценивалась возможность использования физико-математических методов, применяемых для изучения неоднородных структур [5–7].

Разработан эксперимент, в котором ложные ответы не были связаны с важными для человека интересами. Было составлено десять тестов, в каждом из которых по 15 вопросов. Пять вопросов с числами, пять — с фигурами, пять — с цветами. В каждом тесте вопросы сгруппированы так, чтобы не было повторяющихся последовательностей. Использовались:

- разные цвета (черный, зеленый, синий, желтый, красный);
- фигуры (треугольник, квадрат, пятиугольник, шестиугольник, круг);
- числа.

Испытуемый на все вопросы должен отвечать «нет» (то есть давать заведомо неверный ответ). Эксперимент позволяет смоделировать отсутствие «страха перед полиграфом», который имеет место при работе с «тренированной молодежью». Можно предположить, что при таком эксперименте изменения сигналов, зафиксированных полиграммами, связаны с физико-химическими процессами, коррелирующими со стрессоустойчивостью организма.

Анализ сигналов показал, что и при незначительном возбуждающем воздействии значимые факторы различны. На некоторых полиграммах это фотоплетизмограмма, на других — кожно-гальваническая реакция (рис. 1).

Фотоплетизмограмма обрабатывалась с помощью преобразования Фурье [8]. Установлено, что амплитуды гармоник, кратные основной частоте, убывают по величине. Это характерно для нормального спектра фотоплетизмограммы. В некоторых экспериментах обнаружено рассогласование частот, которое проявилось на спектрограмме в виде светлых полос [9].

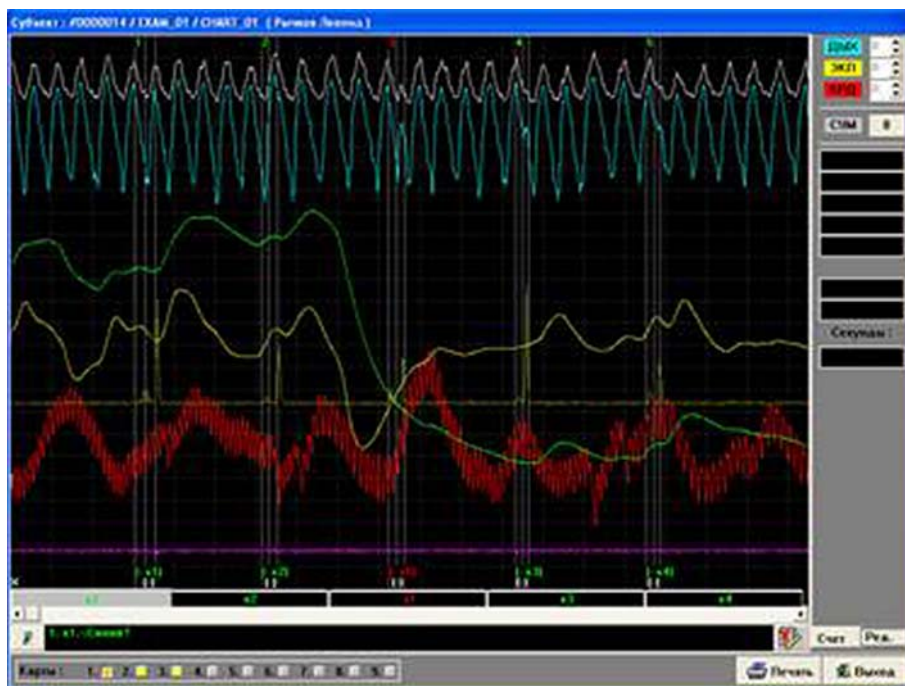


Рис. 1. Полиграмма («Эпос-7»)

Согласно исследованиям [4], оптимальное функционирование организма как единого целого требует определенного частотного соотношения (частотного согласования) между работой сердца и других органов. Частотное согласование уменьшает ненужные потери энергии. При частотном рассогласовании могут быть нарушены циклы жизнедеятельности некоторых важных органов. Появляется психоэмоциональное напряжение — стресс. Поэтому можно полагать, что появление частотных рассогласований на спектрограмме говорит о состоянии эмоционального напряжения.

К результатам, представленным на полиграммах, применен многомерный анализ данных [10].

Использована описанная в [8] программа ЭВМ, в которой заложена возможность вычисления параметров, необходимых для последующего анализа многомерных данных (рис. 2).

Как известно, при применении метода главных компонент (МГК) необходимо выявить, сколько главных компонент нужно использовать. Если выбрано слишком мало компонент, то в интерпретации могут быть не учтены существенные свойства структуры данных. Использование слишком большого числа компонент включает шум в содержательную часть модели.

No	VDH Max	NDH Max	EKP Max	KGR Max	FPG Max	TRM Max	GLS Max	FFP

Buttons: Данные полностью, Данные для МГК, Вычислить параметры, Старт

Рис. 2. Таблица данных для метода главных компонент (МГК)

Строились графики счетов и графики нагрузок (программа Unscrambler) [10]. Была выполнена серия экспериментов, далее представлены результаты двух из них. В первом эксперименте тестируемый солгал, отвечая на вопросы 1, 9 и 11. Традиционная обработка данных выделила как «ложь» вопросы 1, 9, 11, 3 и 6.

Применение метода главных компонент позволило классифицировать вопросы «правда — ложь» по первой и пятой главным компонентам (рис. 3). График нагрузок показывает, что к значимым показателям в этом случае можно отнести тремор, кожно-гальваническую реакцию (рис. 4).

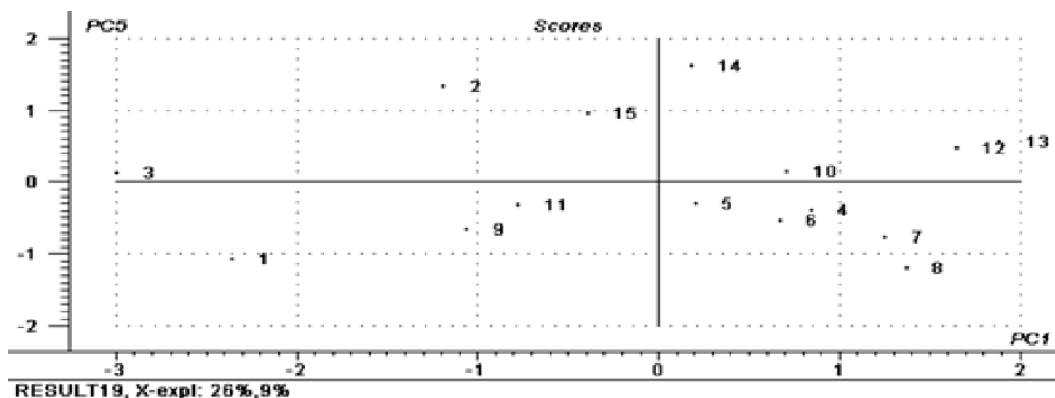


Рис. 3. График счетов (эксперимент 1)

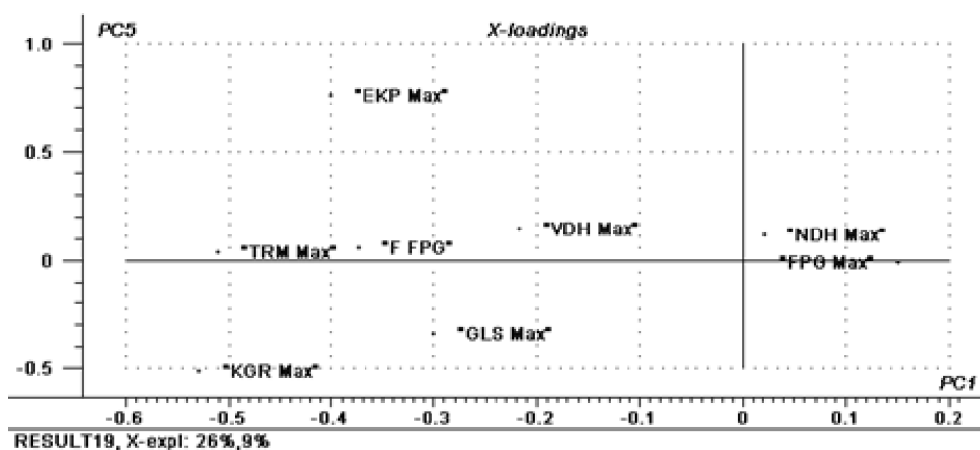


Рис. 4. График нагрузок (эксперимент 1)

Участник второго эксперимента дал ложные ответы на вопросы 5, 9 и 13. Обработка данных в рамках математического аппарата, встроенного в прибор «Эпос-7»,

позволила идентифицировать в качестве ложных ответов на 1, 8 и 9 вопросы, с меньшей уверенностью — на 5, 11 и 13 вопросы (рис. 5).



Рис. 5. Результаты второго эксперимента («Эпос-7»)

Анализ биофизических характеристик по результатам обработки полиграмм

Были подобраны необходимые компоненты: ложные ответы расположились в первой четверти (рис. 6).

На стресс реагируют преобладающим образом дыхание и кожно-гальваническая реакция (рис. 7).

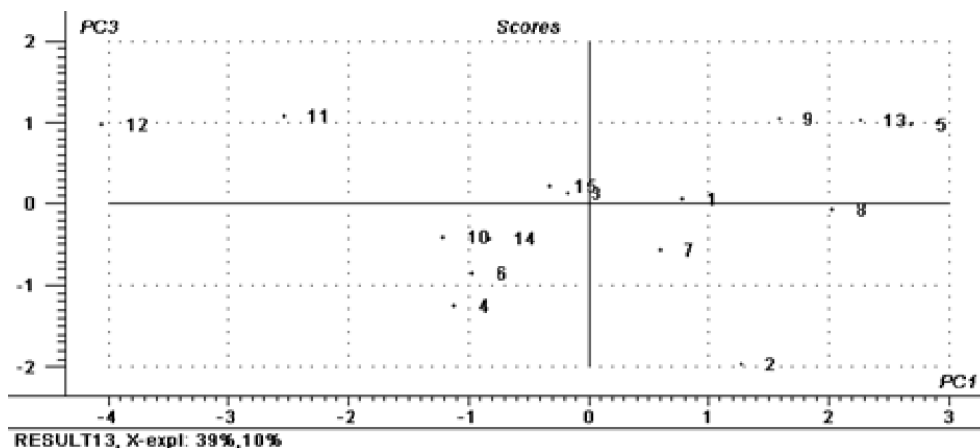


Рис. 6. График счетов (эксперимент 2)

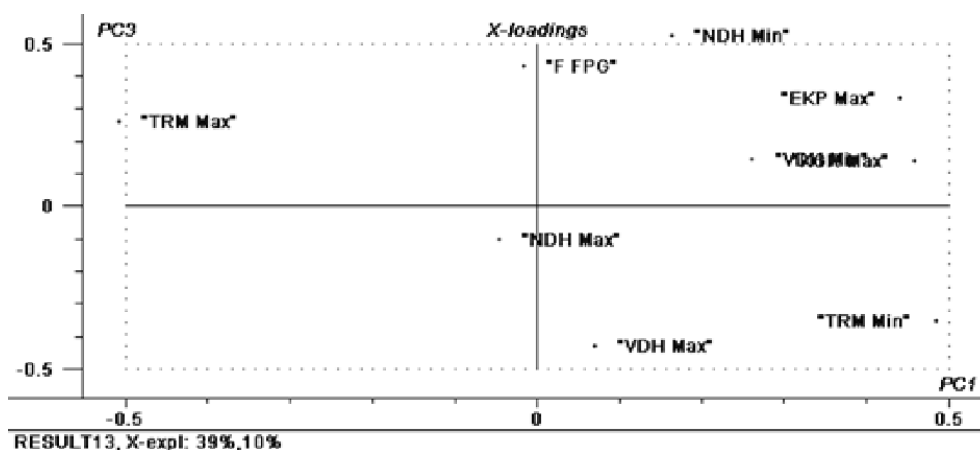


Рис. 7. График нагрузок (эксперимент 2)

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Предложен и апробирован инструментарий, применение которого при работе с «тренированной» молодежью позволяет уменьшить количество ошибочных трактовок ответов на вопросы по сравнению с использованием математического аппарата в серийно выпускаемом полиграфе («Эпос-7»), извлечь дополнительную информацию из полиграмм, кроме традиционной классификации «правда — ложь».

2. Выявлено, что проявление ярких полос на спектре фотоплетизмограммы, обусловленных изменением спектральной мощности в результате частотного рассогласования, связано с состоянием эмоционального напряжения тестируемого в ходе опроса.

3. Выполнена классификация данных полиграмм с помощью метода главных компонент. Результаты

численных экспериментов показали, что применение метода главных компонент позволяет классифицировать данные полиграмм по признакам «стресс — отсутствие стресса», «правда — ложь». Установлено, что при использовании многомерного анализа данных обработку полиграмм необходимо выполнять индивидуально для каждого конкретного человека.

4. Предложенные подходы к анализу экспериментальных данных расширяют функциональность использования полиграмм: экспресс-анализ стрессоустойчивости по измеряемым параметрам, оценка степени значимости реакции биофизических показателей на раздражающий фактор, конкретизация подсистемы, в которой может наблюдаться повышенная реакция на внешнее воздействие.

Библиографический список

1. Поляков В.В., Трушин В.А. и др. Региональные аспекты технической и правовой защиты информации. — Барнаул, 2013.
2. Ben-Shkufiar G., Furedy J. Theories and applications in (he detection of deception. A psychophysiological and international perspective. — N. Y. Inc. 1990.
3. Успенский В.М. Информационная функция сердца. Теория и практика диагностики заболеваний внутренних органов методом информационного анализа электрокардиоосигналов. — М., 2008.
4. Герман И. Физика организма человека. — Долгопрудный, 2011.
5. Минакова Н.Н. Расчетные модели прогноза свойств и анализа проводимости структурно-неоднородных композиционных материалов // Электротехника. — 2000. — № 9.
6. Бортников А.Ю., Минакова Н.Н. Анализ структуры электропроводящих высокополимерных материалов с агломерированными компонентами // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2006. — Т. 49, № 11.
7. Леонтьев К.А., Панин С.В., Холодный В.И. Оценка результатов тестирования на полиграфе методами регрессионного анализа // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. — 2014. — № 10.
8. Бровко С.В. Методы обработки фотоплетизмограммы для выявления состояния стресса // Проблемы правовой и технической защиты информации – 2014 : материалы междисциплин. межвуз. конф. студентов, аспирантов и магистрантов. — Барнаул, 2014.
9. Бровко С.В. Обработка фотоплетизмограммы для оценки достоверности сообщенной информации // Информационное пространство в аспекте гуманитарных и технических наук-2014 : материалы 3 междисциплин. межвуз. конф. студентов, аспирантов и магистрантов. — Барнаул, 2014.
10. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / пер. с англ. С.В. Кучерявского ; под ред. О.Е. Родионовой. — Черноголовка, 2005.