

КОГНИТИВНЫЕ И СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.821, 343.98

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МРТ-СОВМЕСТИМОГО ПОЛИГРАФА

© 2021 г. Д.Г. Малахов^{1,*}, И.С. Лисицин¹, Л.И. Скитева¹, Ю.И. Холодный¹

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

* E-mail: Malakhov_DG@nrcki.ru

Разработано программное обеспечение (ПО) объективной количественной оценки кожно-гальванических реакций человека, реакций, наблюдаемых в его фотоплетизмограмме и в дыхании, которые регистрируются в процессе магнитно-резонансной томографии (МРТ) с помощью МРТ-совместимого полиграфа (МРТсП). Проведенными исследованиями подтверждена эффективность использования ПО и определены направления дальнейшего совершенствования технологии оценки указанных экспериментальных данных, зарегистрированных МРТсП.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ КИ) осуществляет фундаментальные и прикладные когнитивные и нейрофизиологические исследования, в которых активно используются методы нейровизуализации и, в частности, методы магнитно-резонансной томографии (МРТ) и функциональной МРТ (фМРТ).

Одним из частных направлений таких фундаментальных и прикладных исследований является изучение нейрокогнитивных процессов, обеспечивающих возможность выявления у человека информации о скрываемых им событиях прошлого. Как уже сообщалось ранее, для повышения качества и результативности научно-исследовательских работ по указанному направлению в НИЦ КИ был разработан компьютерный МРТ-совместимый полиграф (МРТсП), который дал возможность реализовать метод совместной регистрации вегетативных реакций (СРВР) человека во время его исследования в условиях действия сильного магнитного поля (3 Тл) МР-томографа [1].

Совместное использование этого прибора и методических средств (тестов), заимствованных из криминалистики, позволили сформировать уникальную технологию экспериментов [2, 3], которая подтвердила полезность применения МРТсП при изучении нейрокогнитивных процессов в ходе фМРТ. Попутно отметим, что предложенная технология оказалась также полезной при проведении нейрокогнитивных исследований, осуществляемых в интересах психиатрии и неврологии [4, 5].

На первых этапах изучения возможности и эффективности использования МРТсП для анализа реакций, зарегистрированных в итоге проведения тех или иных тестов, была применена трехуровневая экспертная балльная оценка, широко применяемая в мировой практике исследований с применением полиграфа (ИПП) [6], показавшая пригодность применения МРТсП в экспериментальной работе. Однако при всей кажущейся простоте трехуровневой системы оценки реакций, она содержит элементы субъективности, требует высокой квалификации эксперта, а также является слишком трудоемкой для массовых исследований в научных и медицинских целях.

Особую актуальность система объективной автоматической оценки приобрела в связи с работами по медицинскому применению МРТсП [7], а также для интеграции с созданным аналогичным прибором для автономного клинического применения.

Обзор принятых в современной технологии ИПП экспертных методов [8–10] и методов объективного количественного анализа физиологических процессов, традиционно контролируемых в ходе ИПП (дыхания, сердечно-сосудистой и электродермальной активности), дал основание выбрать на начальном этапе единую характеристику для всех типов процессов – длину линии, соответственно, пневмограммы верхнего и нижнего дыхания (ВД и НД), фотоплетизмограммы (ФПГ) и кожно-гальванической реакции (КГР) на эпохе анализа [11] с последующей нормировкой по каждому

из параметров для приведения к единой единице измерений.

Однако открытым оставался вопрос о подборе весовых коэффициентов для каждого из полученных нормированных параметров для объединения в единую оценку. На настоящее время не сформировано единого стандарта для объединения полиграфических данных. Существует также практика индивидуального подбора весовых коэффициентов, которая требует набора большой статистики реакций на заранее известные стимулы для каждого испытуемого, что затруднительно осуществить во многих практических исследованиях с применением МРТсП. В настоящей работе было предположено, что применение в определенных случаях фиксированных весовых коэффициентов для всей выборки может показать удовлетворительные результаты по выявлению реакций на значимые стимулы в целях применения данной технологии в нейрокогнитивных исследованиях.

Оценка эффективности способов обработки проводилась с использованием в качестве метрики числа правильно определенных значимых стимулов в ряде стандартных тестов, принятых в криминалистической практике [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследовании приняли участие 23 испытуемых (мужчины в возрасте 21–23 года), которые выполняли задачи «теста на скрываемое имя» (ТСИ) и «теста на знание виновного» (ТЗВ) [3]. В частности, при выполнении ТЗВ испытуемый выбирал визитную карточку, запоминал фамилию и место работы человека, и далее ему назывались признаки выбранной визитки в ряду 5 других неизвестных, при этом на все вопросы испытуемый отвечал отрицательно [2, 4]. В тесте ТСИ аналогичным образом испытуемый скрывал собственное имя в ряду нейтральных имен. Во время выполнения этих задач регистрировалась одновременно фМРТ и полиграмма.

Данные КГР, ФПГ и дыхания регистрировались при помощи МРТсП с аппаратной частотой квантования 1000 Гц и сохранением постоянной составляющей сигнала. Полученные сигналы подвергались понижению частоты дискретизации до 100 Гц и цифровой полосовой фильтрации при помощи фильтров Баттерворта 1-го порядка в диапазонах: КГР – 0.1–1 Гц; ФПГ – 1–20 Гц; пневмограмма – 0.1–20 Гц. Указанные диапазоны фильтрации были выбраны как наиболее оптимальные для одновременно экспертной и автоматической оценки.

Экспертные оценки были получены согласно разработанным более полувека назад правилам: реакция на «первый стимул во время теста не оценивается, чтобы уменьшить эффект ориентировочной реакции. Стимул, вызывающий самую сильную реакцию, получает два балла, а стимул, вызвавший следующую, менее выраженную реакцию, получает один балл. Все другие стимулы получают ноль баллов» [6]. Однако если в случае КГР и ФПГ в большинстве случаев можно вручную расставить соответствующие 1 или 2 балла, то корректно оценить визуальную реакцию в грудном и брюшном дыхании из-за их варибельности и нестабильности весьма трудно или просто невозможно. Поэтому в экспериментальных исследованиях экспертной оценке подвергались только КГР и реакции в ФПГ, а балльная оценка реакций дыхания не осуществлялась.

Для автоматической оценки входной сигнал разделялся на эпохи длительностью 10 с, начиная с отметки о предъявлении стимула экспериментатором: такой интервал анализа также был выбран для сохранения единообразия экспертной и автоматической оценки, хотя известно, что у различных людей длительность и динамика реакций существенно варьируется. Первое предъявление в каждом блоке стимулов исключалось из анализа.

В качестве способа определения величины реакций была применена оценка интегрального перепада амплитуды сигнала на всей эпохе анализа ($\sum |A_{i+1} - A_i|$), которая приближается к аппроксимированной длине линии при уменьшении масштаба по оси времени и имеет ряд преимуществ (обсуждение которых выходит за рамки данной статьи). Данный способ оценки оказался универсальным для нескольких анализируемых типов сигнала.

Полученные оценки реакций нормировались по каждому физиологическому параметру отдельно для приведения к единой системе измерения.

Нормированные оценки умножались на весовые коэффициенты и разделялись на группы по типу стимула.

Далее из предъявленных групп стимулов выбиралась та, которая вызвала наибольшую реакцию по минимальному или максимальному значению реакции (в зависимости от наиболее типичного поведения параметра – в практике ИПП отмечена тенденция к уменьшению длины кривой дыхания, увеличению длины кривой КГР и уменьшению длины кривой ФПГ [12]) среди всех групп. Номера полученных групп после обработки данных сравнивались с известной позицией значимого стимула,

Таблица 1. Процент числа совпадений номеров стимулов, выделенных в процессе обработки данных разными способами, с раскрытыми после обработки действительными номерами значимых стимулов

Вариант обработки (см. раздел «Экспериментальная часть»)	ТСИ	ТЗВ
1. ДГ	26%	26%
2. ДБ	22%	30%
3. КГР	91%	91%
4. ФПГ	74%	57%
5. КГР-ФПГ	100%	83%
6. КГР-ФПГ с исключением ненадежных данных ($p > 0,05$ по t -критерию и U -критерию при сравнении проверяемого стимула со всеми остальными)	100%	100%
7. Экспертные оценки	100%	91%

и подсчитывалось число совпадений. Таким образом, получалась метрика, показывающая эффективность каждого из примененных способов обработки данных.

Данная метрика была посчитана (см. табл. 1) для тестов ТСИ и ТЗВ для следующих способов обработки:

1. Выбор по минимальной оценке нормированных реакций только по каналу пневмограммы грудного дыхания (ДГ).
2. Выбор по минимальной оценке нормированных реакций только по каналу пневмограммы брюшного дыхания (ДБ).
3. Выбор по максимальной оценке нормированных реакций только по каналу КГР (КГР).
4. Выбор по минимальной оценке нормированных реакций только по каналу ФПГ (ФПГ).
5. Выбор по максимальной оценке суммарных реакции КГР и ФПГ с весовыми коэффициентами «+1» и «-1», соответственно (КГР-ФПГ).
6. Тот же способ, но добавлялось сравнение выбранной группы реакций со всеми остальными реакциями по t -критерию Стьюдента и U -критерию Манна-Уитни с исключением всех данных по испытуемому из подсчета итоговой оценки как ненадежных при $p > 0,05$.
7. Экспертные оценки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные метрики эффективности для различных вариантов обработки приведены в табл. 1.

Анализ отдельных параметров до их объединения (пункты 1–4 таблицы) показал, что параметры дыхания имеют высокую нестабильность. Поэтому было принято решение не добавлять их в расчет обобщенных коэффициентов, чтобы не ухудшать

общую оценку или не делать ее зависимой от особенностей конкретной выборки. Параметр длины линии по ФПГ (п. 4) на выборке наиболее часто показывает обратную связь с силой реакции, поэтому он был взят с отрицательным знаком. Здесь интересно отметить, что, хотя известно о диагностической информативности этого параметра [13], он практически не используется в зарубежной практике ИПП. Для универсальности для дальнейшего расчета были заданы весовые коэффициенты «+1» и «-1» для КГР и ФПГ соответственно.

Автоматическая обработка с фиксированными весовыми коэффициентами («+1» и «-1» для КГР и ФПГ соответственно) показала 100% выделение значимого стимула в ТСИ, как и экспертная оценка.

В случае ТЗВ автоматическая обработка с объединением параметров показала несколько худшие результаты, но сопоставимые, при этом обладая несомненными преимуществами в виде независимости от субъективной оценки эксперта и скорости работы.

Проверка надежности данных в тесте ТЗВ при помощи сравнения выделившейся группы стимулов со всеми остальными стимулами по t -критерию Стьюдента и U -критерию Манна-Уитни показало, что у некоторых испытуемых p -значение превышает порог: $p > 0,05$ (7 испытуемых из 23 по t -критерию и 9 по U -критерию). Это может являться показателем ненадежности данных. Поэтому был произведен подсчет результатов с исключением этих испытуемых из анализа. У всех оставшихся испытуемых обнаружено 100% совпадение с выбранными испытуемыми стимулами. Надо заметить, что p -значения в данном случае расценивались как показатели согласованности данных и не считались вероятностью ошибки принятия решения о наличии значимого стимула. Такая оценка является отдельной сложной проблемой.

Таким образом, автоматическая оценка с объединением показателей КГР и ФПГ показала сопоставимые с экспертной оценкой результаты, при этом повышая объективность, скорость обработки и предоставляя возможности для оценки качества входных данных.

ВЫВОДЫ

Представленные выше результаты, в целом, подтвердили полезность и эффективность предложенного алгоритма оценки физиологических данных, регистрируемых с помощью МРТсП. Получаемые оценки дают возможность перейти к автоматическому анализу полиграмм для комбинирования с

другими методами исследования нейрокогнитивных процессов, в частности, фМРТ.

Была установлена практическая применимость фиксированных весовых коэффициентов «+1» и «-1» для КГР и ФПГ соответственно для автоматического анализа с получением результатов, сопоставимых с экспертной оценкой. Применен способ оценки качества входных данных, позволивший ввести объективный критерий для исключения ненадежных входных данных в автоматическом режиме и, таким образом, превзойти точность экспертной оценки. Возможно дальнейшее повышение эффективности данной технологии при помощи варьирования параметров и применения альтернативных вариантов предобработки сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kovalchuk M.V., Kholodny Y.I. // *Functional magnetic resonance imaging augmented with polygraph: new capabilities. Advances in Intelligent Systems and Computing*(eBook), 2019, p. 260–265. (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-25719-4>).
2. Kholodny Y.I., Kartashov S.I., Malakhov D.G., Orlov V.A. // *Study of Neurocognitive Mechanisms in the Concealed Information Paradigm. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020, p. 149–155. (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-65596-9>).
3. Kholodny Y.I., Kartashov S.I., Malakhov D.G., Orlov V.A. // *Improvement of the Technology of fMRI Experiments in the Concealed Information Paradigm. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020, p. 591–597. (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-65596-9>).
4. Ковальчук М.В., Холодный Ю.И., Карташов С.И., Малахов Д.Г., Орлов В.А. // *Комплексное применение фМРТ и МРТ-совместимого полиграфа: новые возможности при проведении исследований человека. Вестник Военного инновационного технополиса «ЭРА»*. 2020, т. 1, №1, с. 112–116.
5. Zakharova N.V., Svininnikova M.A., Bravve L.V., Mamedova G.S., Kaydan M.A., Maslennikova A.V., Orlov V.A., Kartashov S.I., Kholodny Y.I., Ushakov V.L. // *Induced Delusional Disorder (Folie à Deux). The accuracy and utility of polygraph testing (Department of Defense, DC). Polygraph*. 1984, v. 13, №1, p. 54.
6. *The accuracy and utility of polygraph testing (Department of Defense, DC) // Polygraph*. 1984, v. 13, №1, p. 54.
7. Захарова Н.В., Ковальчук М.В., Костюк Г.П., Бравве Л.В., Кайдан М.А., Карташов С.И., Малахов Д.Г., Холодный Ю.И. // *Возможности прикладного использования полиграфа для изучения негативной симптоматики больных параноидной шизофренией. Психическое здоровье*. 2019, №12, с. 50–60.
8. Петров А.М., Мягких С.Г. // *Из записной книжки полиграфолога: Справочное пособие для специалистов, использующих полиграф при опросе граждан*. – Пермь: ИД «Компаньон», 2003, 202 с.
9. Оглоблин С.И., Молчанов А.Ю. // *Инструментальная «детекция лжи»: академический курс*. – Ярославль: Нюанс, 2004, 464 с.
10. Черепанова И., Петров А., Мягких С. // *Детектор правды*. – М.: Изд. «КСП+», 2004, 314 с.
11. Леонтьев К.А., Панин С.Д. // *Оценка полиграмм, полученных в ходе криминалистического исследования с применением полиграфа. Юридическая психология*. 2014, №2, с. 33–37.
12. *The polygraph and lie detection*. – Washington: The National Academy Press. 2003, p. 314.
13. Krapohl D.J., Show P.K. // *Fundamentals of polygraph practice*. San Diego: Academic Press, 2015, p. 96.