

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Степанов Алексей Владимирович

«Использование физиологического тремора и периферической гемодинамики для оценки эмоциональных состояний вызванных сокрытием информации»

Выпускная квалификационная работа
по направлению подготовки 06.04.01 «Биология»
основная образовательная программа магистратуры «Биология»
профиль «Нейробиология, психофизиология»

Работа выполнена на кафедре ВНД и психофизиологии
(зав. каф. проф. д.б.н. Александров А. А.)

Научный руководитель: н.с. Александров А. Ю.

Цель работы:

изучение возможности оценки психофизиологических характеристик эмоционального состояния человека по параметрам периферической гемодинамики и физиологического тремора рук в условиях модельного психофизиологического эксперимента, направленного на выявление скрываемой информации.

Задачи работы:

Разработка модели эксперимента позволяющей оценивать психофизиологические характеристики эмоциональных состояний человека возникающих при сокрытии информации.

Разработка способов оценки вызванных изменений физиологического тремора связанных с сокрытием информации.

Разработка способов оценки вызванных изменений периода периферической гемодинамики связанных с сокрытием информации.

ЦЕЛИ	2
ЗАДАЧИ	2
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	3
Развитие исследований эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации	3
Использование физиологического тремора для исследования аффективных реакций связанных с сокрытием информации	9
Фотоплетизмографические методы исследования эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации	11
МЕТОДИКА	
РЕЗУЛЬТАТЫ	19
Физиологический тремор	19
Периферическая гемодинамика	25
ОБСУЖДЕНИЕ	31
ВЫВОДЫ	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	34

Обзор литературы.

Развитие исследований эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации.

Использование психофизиологических методов для обнаружения аффективных изменений связанных с сокрытием информации, имеет довольно давнюю историю и восходит к исследованиям в области психологии конца девятнадцатого века (Lombroso, 1895). Несмотря на то, что обнаружение обмана психофизиологическими методами было прежде всего распространено в США в течение большей части двадцатого века, в последнее время (во второй половине XX века) и в других странах увеличился интерес к данному направлению научных исследований и их практическому применению.

Обнаружение сокрытия информации психофизиологическими методами применяется для решения широкого спектра различных по постановке задач. Например, в американском судопроизводстве результаты обнаружения обмана психофизиологическими методами принимаются в качестве доказательства в процессуальных действиях. Во многих странах правоохранительные органы используют обнаружение обмана психофизиологическими методами в качестве инструмента в рамках расследования для проверки достоверности показаний подозреваемых и информаторов. Обнаружение обмана психофизиологическими методами может также использоваться в качестве инструмента профессионального отбора на начальных этапах приема на работу для контроля лояльности служащих в рамках рутинных мероприятий по соблюдению мер внутренней безопасности. В США применение обнаружения обмана психофизиологическими методами в системе национальной безопасности для выявления граждан, занятых деятельностью, направленной против правительства, является повсеместным (Honts, Raskin and Kircher, 2002).

Помимо этого, в последнее время широкое распространение получила практика использования психофизиологического (полиграфического) тестирования в рамках программы освобождения преступников осужденных за сексуальные преступления. В качестве условия освобождения преступники, осужденные за сексуальные преступления, обязаны проходить периодические проверки на предмет возможного совершения новых

сексуальных преступлений или другого противоправного поведения. В данном случае полиграфическая проверка является средством исправления и профилактики правонарушений. Использование полиграфа в отношении преступников, осужденных за сексуальные преступления, быстро растет и заслужило практически всеобщее одобрение судами в США (Barland, 1988).

Достаточно сложно точно оценить степень использования психофизиологических методов оценки эмоциональных состояний при решении прикладных задач. Тем не менее, полиграфические методы тестирования совершенно очевидно играют важную роль в правоохранительной практике в Канаде, Израиле, Японии и Корее. Результаты полиграфических проверок принимаются во внимание судом в Японии (Hira, Furumitsu, 2002). Подобные проверки, по крайней мере периодически, используются в целях обеспечения правопорядка в таких странах как Бельгия, Китай, Тайвань, Мексика, Румыния, Турция и Польша (Raskin, 2003). Отсутствуют данные об использовании полиграфических проверок в целях обеспечения национальной безопасности во всем мире. Тем не менее, использование полиграфических проверок и объем сведений о них во всем мире растет.

Программы научного исследования эффективности и методической корректности полиграфического тестирования в последнее время проводились в Бельгии (Verschuere, 2003) и Нидерландах (Merckelbach et al, 2003). Хотя в настоящее время имеется значительный объем научных исследований в сфере обнаружения обмана психофизиологическими методами, данные исследования нацелены, прежде всего, на применение в судебных и следственных целях. Намного меньший объем исследований существует в сфере занятости и национальной безопасности, и фактически нет открытых данных об исследованиях использования полиграфических проверок при лечении и мониторинге лиц, совершивших преступления сексуального характера (Honts, Thurber, Svencek и Allowey, 2002).

В полевой практике все современные психофизиологические методы используемые для обнаружения сокрытия информации, чаще всего связаны с регистрацией всего трех параметров физиологических систем организма, управляемых автономной нервной системой. Оборудование для осуществления психофизиологического тестирования является цифровым и работает на основе программного обеспечения для обеспечения калибровки, хранения и анализа данных. При исследовании производится регистрация изменений потоотделения с внутренней поверхности руки (кожно-гальваническая

реакция или электродермальный ответ), относительного кровяного давления (полученного от датчика, закрепленного на предплечье), и дыхания регистрируемого от объемных сенсоров закрепленных вокруг груди и живота. Дополнительно может производиться регистрация изменений периферического кровотока, с использованием плетизмографического датчика, закрепленного на внутренней стороне большого пальца. Пьезоэлектрический датчик, расположенный в кресле, регистрирует перемещения центра тяжести тела испытуемого (Granhag, Stromwall, 2004).

С методологической точки зрения, прикладные методы обнаружения факта сокрытия информации психофизиологическими методами можно условно разделить на две основные техники. Первая техника - это «выявление скрываемой информации» (Concealed Knowledge Tests - СКТ). Метод предназначен для оценки достоверности информации, в результате предъявления испытуемому нескольких вариантов, включающих объективно правильный ответ и некоторое количество аналогичных по форме, но фактически ложных ответов. В качестве примера можно рассмотреть кражу бриллиантового кольца. В этом случае тестируемому лицу можно предложить следующие варианты украденных предметов: рубиновое кольцо, изумрудное кольцо, бриллиантовое кольцо, кольцо с аметистом, золотое кольцо. Смысл теста СКТ заключается в том, что индивид, не располагающий необходимой фактической информацией, ответит случайным образом. Таким образом, вероятность ошибки ложного обнаружения (невинный, не прошедший тест) на СКТ, может быть оценена с точки зрения теории вероятности. Кроме того, чем больше нерелевантных вариантов предлагается испытуемому, тем ниже вероятность ошибки ложного обнаружения. Предполагается, что лица располагающие фактической информацией и скрывающие ее продемонстрируют отличные от случайных профили психофизиологических реакций (Iacono и Lykken, 2002).

Сторонники СКТ справедливо отмечают, что эта техника в наибольшей степени отвечает современным представлениям о культуре психофизиологического эксперимента. Вместе с тем, СКТ имеет несколько существенных недостатков. Во-первых, СКТ подразумевает, существование некоторой эксклюзивной фактической информации на основе которой может быть подготовлена тестовая последовательность. Данная особенность представляет серьезную проблему при применении теста в тех странах, где средства массовой информации публикуют детальные описания места и события преступления. Кроме того, тестовая последовательность может содержать варианты, которые могли бы в силу случайных совпадений привести к возникновению

аффективных реакций. При предъявлении вариантов СКТ неинформированной группе испытуемых можно было бы оценить подобную погрешность лишь при использовании в исследовании испытуемых, отобранных с учетом соответствия типичным представителям социальной среды подозреваемых.

Вторая существенная проблема связанная с использованием СКТ – это возможность его практического применения. В реальных условиях применение метода СКТ может оказаться невозможным потому, что сразу несколько или даже все кандидаты заведомо располагают всей необходимой информацией. По результатам исследования Подлесны, на материалах статистических сводок Федерального бюро расследований Соединенных Штатов, оказалось, что СКТ мог быть применен в не более, чем 18 процентах случаев (Podlesny 1993).

Третья, в основном, практическая проблема СКТ - это запоминаемость информации, связанной с обстоятельствами происшествия. В настоящее время не существует объективных методов предсказания того, какие детали места происшествия респонденты смогут воспроизвести по окончании исследуемых событий. Литература по исследованию особенностей памяти свидетелей преступления создает предпосылки для утверждения, что аналогично свидетелю, виновный может испытать проблемы с воспроизведением деталей места преступления (Honts et al., 2002).

Лабораторные исследователи избегают этой проблемы, проводя тестирование экспериментальных инсценированных преступлений, чтобы определить способность запоминания для деталей преступления, или используя для лабораторного СКТ только хорошо изученные условия. Однако данный подход не применим в практике реального полиграфического тестирования. Невозможность вспомнить ключевые ответы на вопросы СКТ должно привести к увеличению ошибок ложного обнаружения (виновных, успешно проходящих тест), и есть исследования подтверждающие, что СКТ подвержен ошибкам ложного обнаружения. В исследованиях на практике, по меньшей мере, 58 процентов лиц, чья виновность установлена успешно проходят тест СКТ (Elaad, 1990). Кроме того, исследования в области памяти свидетелей, показали, что результаты СКТ подвержены искажению от установок, связанных непосредственно с самим событием. В отсутствие четких рекомендаций, относительно критериев вариантов улик, включаемых в СКТ, отсутствие у подозреваемого информации о СКТ не дает никакого положительного конечного результата (Amato-Henderson, Honts, Plaud, 1996). Обширная литература по особенностям памяти свидетеля предполагает, что не будет никакого универсального

решения проблемы определения запоминаемости для определенного подозреваемого в конкретном случае.

Вторая группа методов выявления скрываемой информации психофизиологическими методами - тесты на проверку достоверности информации. Эти тесты непосредственно оценивают достоверность информации при предъявлении прямых обвинений. Тесты на проверку достоверности информации применимы в большинстве случаев, за исключением ситуаций в которых субъект мог быть не в состоянии припомнить соответствующие события (высокая степень алкогольного опьянения или последствия черепно-мозговой травмы). Наиболее распространенным в криминалистической практике является Тест Контрольных вопросов (Comparison Question Test (CQT)). Принцип работы CQT заключается в следующем: CQT оценивает достоверность информации респондента, методом поиска психофизиологических различий в реакциях на два типа вопросов. Первый тип вопросов - релевантные вопросы, представляющие собой прямые обвинения по конкретным обстоятельствам, (например: «Вы стреляли в гражданина N?»). Второй тип, вопросы для сравнения, неоднозначные или общие вопросы, которые подводят подозреваемого к предоставлению отрицательного ответа (например: до настоящего момента Вы когда-либо совершали поступки, которые могли бы быть классифицированы как социально нежелательные, противозаконные, или безнравственные).

Некоторые версии прямого CQT склоняют подозреваемого к предоставлению заведомо ложного ответа с дальнейшим прояснением заданного вопроса посредством структурированного интервью. Тест контрольных вопросов предсказывает, что виновные испытуемые произведут бо́льшие физиологические ответы на обвинительные вопросы, зная заранее, что, вопросы ложные, по сравнению физиологическими ответами на неважные сравнительные вопросы. Невинные испытуемые должны произвести большие физиологические ответы на неважные сравнительные вопросы, к которым они сочтут ложными, или по крайней мере сомнительными с точки зрения правдивости их ответа, чем на релевантные вопросы, на которые правдиво отвечают (Raskin и Honts, 2002).

Согласно исследованиям института Гэллага примерно две трети респондентов - докторов наук и докторов медицины SPR заявили, что результаты проверки на детекторе лжи были качественным диагностическим инструментом, при одновременном сопоставлении с другой имеющейся в наличии информацией, и при этом достаточно

надежными, чтобы быть единственным источником для принятия решения. В данном исследовании ответы респондентов не были искажены личной финансовой заинтересованностью (Amato и Honts, 1994). Результаты исследования указывают на то, что метод тестирования на полиграфе принимается в научном сообществе.

Если попытаться резюмировать изложенные оценки современного состояния методологии прикладных исследований выявления сокрытия информации можно сказать, что используемые в настоящее время психофизиологические методы обнаружения скрываемой информации основаны на многочисленных лабораторных и полевых исследованиях. Несмотря на отсутствие единых подходов в применении психофизиологических методов выявления сокрытия информации в судебной практике, большинство исследований высоко оценивают потенциальные возможности таких подходов. Существует довольно однозначное мнение юридических сообществ целого ряда стран о положительном влиянии результатов полиграфического тестирования на качество вынесения судебных приговоров.

Вместе с тем, научные публикации по данному вопросу значительно чаще демонстрируют скептическое отношение к современным возможностям и методическим основам прикладного полиграфического тестирования аффективных реакций связанных с сокрытием информации. В настоящее время все большее распространение получают исследования, направленные на совершенствование методов полиграфического тестирования с учетом сложности решаемой задачи. Дополнительным фактором, усугубляющим возникающие трудности, является возможное противодействие со стороны испытуемого представляющее потенциальную угрозу, границы которой трудно оценить в модельных исследованиях.

Использование физиологического тремора для исследования аффективных реакций связанных с сокрытием информации.

Физиологическим тремором обычно называют произвольные периодические колебания дистальных отделов конечностей с частотой 8 – 12 Гц (Albert M. V., Kording K. P., 2011; Duval C., Jones J., 2005) наблюдаемые у здорового человека. Амплитуда этих колебаний, как правило, настолько мала, что не может быть оценена без использования технических средств измерения. Кроме регистрируемого в норме физиологического

тремора, выделяют так же усиленный физиологический (enhanced physiological) и психогенный (psychogenic) тремор (Apartis E., 2014).

Регистрация тремора трехкоординатными электронными акселерометрами, наряду с электромиограммой, является стандартным методом регистрации физиологического тремора. По сравнению с электромиографической регистрацией, которая не позволяет регистрировать тремор непосредственно, регистрация физиологического тремора с использованием акселерометров представляется более предпочтительной. У метода электромиографической регистрации наряду с упомянутым методическим неудобством имеются и другие недостатки такие, как изменение электрических параметров контакта электрода с кожей в процессе регистрации и двигательные артефакты затрудняющие обработку результатов. При использовании акселерометрических регистраторов указанные недостатки отсутствуют. Произвольные и непроизвольные движения, возникающие в ходе регистрации не влияют на оценку параметров физиологического тремора и могут быть разделены с ними вычислительными средствами в спектральной плоскости (Sushkova O. S. et.al., 2015).

Среди самых распространенных факторов, приводящих к изменению параметров физиологического тремора, чаще всего выделяют введение психотропных веществ, физические нагрузки, тиреотоксикоз, гипогликемию, гипотермию и боль (Hallett M., 1991). В числе наиболее распространенных причин возникновения устойчивого патологического усиления физиологического тремора обычно отмечают те же нарушения метаболизма (тиреотоксикоз, гипогликемия) и прием психотропных препаратов (Beuter A., Edwards R., Titcombe M. S., 2003). В развитие темы влияния изменений эмоционального состояния на тремор следует заметить, что вызванный неврологической патологией тремор тоже может испытывать влияния связанные с эмоциональным состоянием больного. Это, например, показано в отношении тремора вызываемого болезнью Паркинсона (Apartis E., 2014; Marsden C. D., Owen D. A. L., 1967) и, так называемого, эссенциального тремора (Pahwa R, Lyons K., 2003).

Связь между тремором и изменениями эмоционального состояния наиболее часто используют в связи с исследованиями вокального тремора. Данная особенность, замеченная ещё в донаучную эпоху, по сей день активно разрабатывается и используется в практических применениях, направленных на создание систем автоматического распознавания эмоций и выявление сокрытия информации по психофизиологическим параметрам речевого ответа (Álvarez A. et. al., 2007). Здесь также следует отметить, что

патологические формы вокального тремора демонстрируют не менее выраженную зависимость от эмоционального состояния, чем наблюдаемые в норме (Kendall K., 2013).

Обобщая литературные материалы по вопросу использования физиологического тремора при исследовании эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации необходимо отметить, что регистрация и анализ тремора редко используется в практике прикладного тестирования с целью обнаружения сокрытия информации несмотря на то, что в научной литературе имеются указания на зависимость параметров физиологического тремора от изменений эмоционального состояния человека (Варламов, 2010). Вместе с тем, работ посвященных непосредственно исследованию параметров физиологического тремора, вызванных изменениями эмоционального состояния связанными с сокрытием информации обнаружить не удалось.

Фотоплетизмографические методы исследования эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации.

Существуют два основных метода фотоплетизмографической регистрации: метод, основанный на регистрации светового потока проходящего через биологическую ткань и метод предполагающий регистрацию отраженного от биологической ткани светового потока (Alep, 2007). Носимые устройства фотоплетизмографической регистрации периферического кровотока, нашли широкое применение для регистрации физиологических параметров в научной и медицинской практике (Togawa и др., 2011).

Принцип работы датчиков фотоплетизмографической регистрации периферического кровотока основан на изменении оптических свойств ткани при колебаниях объема крови в капиллярах. Типовой фотоплетизмограф состоит из источника света и датчика с цветными или инфракрасными светодиодами, обычно используемыми в качестве источника света (Maeda и др., 2010). Датчик фотоплетизмографа регистрирует изменения интенсивности света, отраженного от биологической ткани или прошедшего через нее (Liu и др., 2016). Изменения в интенсивности света связаны с физиологически обусловленными изменениями в кровоснабжении ткани и предоставляют информацию о параметрах функционирования сердечнососудистой системы, в частности о частоте пульса (Abbod, и др., 2011). Благодаря простому принципу фотоплетизмографической регистрации, были разработаны носимые датчики частоты пульса (Minakuchi и др., 2013).

Принцип фотоплетизмографической регистрации основан на прохождении света через биологическую ткань, часть которого может быть поглощена различными веществами, включая пигменты кожи, кости, артериальную и венозную кровь. Большинство изменений в кровотоке происходит не в венах, а главным образом, в артериях и артериолах. Например, артерии содержат больше объема крови во время систолической фазы сердечного цикла, чем во время диастолической фазы. Фотоплетизмографические датчики на основании изменений оптической плотности обнаруживают изменения объема кровотока в виде изменения зарегистрированной датчиком интенсивности света, отраженного от периферических капилляров или прошедшего сквозь руку, палец или мочку уха (Tamura и др., 2014).

Взаимодействие света с биологической тканью может быть довольно сложным и может заключаться в рассеивании, поглощении и/или отражении. Кровь поглощает большее количество света, чем окружающая биологическая ткань. На основании данного свойства, сокращение объема крови выражается в увеличении интенсивности света зарегистрированного фотоплетизмографическим датчиком при транзитивной форме регистрации фотоплетизмограммы (Hagblad и др. 2010).

С аналитической точки зрения, фотоплетизмограмма может быть представлена как сумма компонентов переменного потока крови (AC) и постоянного потока крови (DC). Компонент постоянного потока крови при фотоплетизмографической регистрации соответствует зарегистрированному датчиком переданному или отраженному оптическому сигналу от биологической ткани и зависит от структуры ткани и среднего объема артериальной и венозной крови. Компонент постоянного потока крови медленно меняется при изменении частоты дыхания. Компонент переменного потока крови отражает изменения в объеме крови, который происходят между систолическими и диастолическими фазами сердечного цикла. Фундаментальная частота компонента переменного потока крови демонстрирует изменения сердечного ритма и накладывается на компоненту постоянного потока крови (Maeda и др., 2011).

Достаточно хорошо известно, что запись, полученная неинвазивно с помощью датчика фотоплетизмографической регистрации, имеет контур и форму, схожие с кривой давления, полученной при регистрации через катетер, помещенный инвазивно в сонную артерию и записью зарегистрированной с помощью манометра с тензометрическим датчиком. В то время как датчик фотоплетизмографической регистрации фиксирует

изменение объема сосудов с поверхности кожи, манометр с тензометрическим датчиком регистрирует фактическое изменение внутреннего давления.

Как средство оценки эмоционального состояния регистрация периферической гемодинамики имеет давнюю историю. Регистрация фотоплетизмограммы входит в число наиболее распространенных методов прикладного полиграфического тестирования (Алексеев Л., 2011). Данный метод может использоваться и как простой способ регистрации частоты сердечных сокращений и как средство получения более трудных для регистрации параметров, таких как изменение артериального давления. Регистрация изменений артериального давления с использованием фотоплетизмографии может осуществляться как в сочетании с электроэнцефалографией – по скорости пульсовой волны (Douniama C., 2009) так и непосредственно - с использованием анализа формы пульсовой волны (Theertha A., Kayalvizhi N., Rolant G., 2017).

Таким образом, можно сказать, что метод фотоплетизмографической регистрации параметров изменения периферической гемодинамики широко используется как в практике прикладных полиграфических исследований, так и в научной сфере - для психофизиологической регистрации изменений эмоционального состояния (Egermann H. et.al., 2013). Вместе с тем, используемый в данной работе метод анализа периферической гемодинамики с использованием функции средней амплитуды различий в литературе не встречается.

Методика

Работа направлена на исследование динамики физиологического тремора и периферической гемодинамики при изменениях эмоционального состояния человека, вызванных демонстрацией зрительных стимулов. Для моделирования условий соответствующих сокрытию информации была разработана схема эксперимента, воспроизводящая в условной игровой форме используемую в прикладном полиграфическом тестировании технику выявления скрываемой информации (СКТ).

В условиях автоматизированного эксперимента испытуемому многократно в случайном порядке предъявляли зрительные стимулы – цифры от 0 до 7 в произвольной последовательности. В ходе эксперимента регистрировали параметры, которые связаны с

возникновением эмоциональной реакции, сопровождающей момент сокрытия информации: физиологический тремор и изменение периферического кровотока.

В исследовании приняли участие 17 человек – студентов СПбГУ, учащихся 2-3 курсов в возрасте 19-22 года. Все испытуемые предварительно прошли обследование, направленное на определение предпочитаемой руки. Четырнадцать испытуемых оказались праворукими и двое леворукими.

В ходе эксперимента, испытуемый располагался в экранированной звукоизолированной камере, в кресле, в положении сидя с симметричным расположением обеих рук. Кисти рук и предплечья должны были находиться в безопорном и, по возможности, комфортном для испытуемого положении. Регистрацию физиологического тремора осуществляли трехкоординатными цифровыми акселерометрами типа ADXL345 («Analog Devices», США). Акселерометры закрепляли симметрично на внешней стороне указательных пальцев правой и левой руки испытуемого. Регистрация изменения периферического кровотока производилась с помощью фотоплетизмографических регистраторов. Фотоплетизмографические регистраторы крепились на внутренней стороне больших пальцев рук.

Метки синхронизации с началом демонстрации тестирующего зрительного стимула регистрировали с экрана монитора аппаратно датчиком яркости светового потока OPT101 («Texas Instruments», США).

Для увеличения стабильности регистрируемых параметров моторной активности и снижения количества артефактов регистрации испытуемому предоставляли зрительную обратную связь по положению обеих рук в горизонтальной плоскости (рис. 1 А, Б). Монитор, на экран которого транслировали сигналы и отображали индикаторы сигналов обратной связи, находился по средней линии перед испытуемым на расстоянии приблизительно 1 метр.

Индикаторы сигналов обратной связи на экране монитора предьявлялись в виде двух прямоугольников: красного и синего цвета, высота которых регулировалась испытуемым посредством обратной связи с помощью трехкоординатных акселерометров, закрепленных на указательных пальцах рук. Размер прямоугольника красного цвета мог изменяться с помощью акселерометра, закрепленного на указательном пальце левой руки, размер прямоугольника синего цвета управлялся акселерометром, закрепленным на указательном пальце правой руки. При увеличении размеров прямоугольников по высоте

и достижении прямоугольниками максимального размера на экране появлялся зрительный стимул (цифра от 0 до 7) выбираемый в случайном порядке (рис. 1 В).

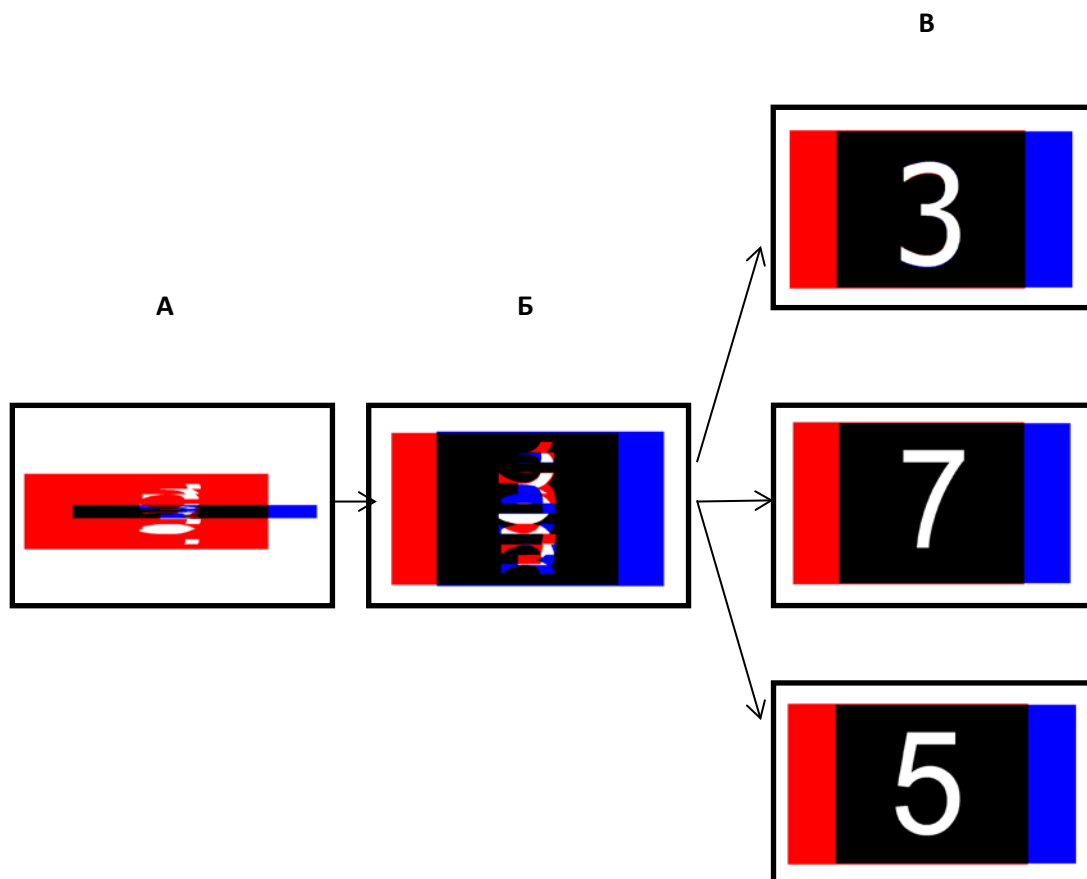


Рис. 1. Последовательность предъявления сигналов.

- А, Б - Вид сигналов обратной связи при недостаточном качестве выполнения испытуемым поставленной задачи.
- В - Сигналы обратной связи и тестирующие стимулы при успешном выполнении испытуемым поставленной задачи.

Задача испытуемого заключалась в достижении максимального размера прямоугольников с помощью сигналов обратной связи. Реализация данной задачи испытуемым завершалась преобразованием предъявляемой цифры из искаженного нечитаемого графического символа в четкий читаемый графический символ, расположенный на фоне пересекающихся прямоугольников.

Полученное изображение оставалось на экране в течение 2.5 с. вне зависимости от действий испытуемого. После окончания экспозиции тестирующего изображения аналогичного рис. 1 В осуществлялся автоматический переход к изображению 1. А. После чего, у испытуемого появлялась возможность своими действиями либо вызвать демонстрацию следующего сигнала, либо предоставить себе небольшой отдых. Программа эксперимента включала 64 предъявления тестирующих сигналов по 8 для каждого зрительного стимула. Продолжительность эксперимента обычно не превышала 6-8 минут в зависимости от скорости следования сигналу обратной связи и длительности пауз, которые делал испытуемый при выполнении задачи.

В ходе предварительного инструктажа испытуемому разъясняли его задачу и проверяли освоение навыков использования обратной связи, необходимых для выполнения программы эксперимента. Испытуемому разъяснялась безопасность используемых датчиков и неинвазивный характер регистрации физиологических параметров. Затем испытуемый подписывал информированное согласие на проведение эксперимента в соответствии с Хельсинкской декларацией о правах человека (1965).

Перовой задачей испытуемого перед началом эксперимента было загадать любую цифру из предложенного ему набора, поместить карточку с загаданной цифрой в один конверт, а остальные карточки - в другой. Свой выбор испытуемый должен был скрывать от экспериментатора до конца тестирования.

Второй задачей испытуемого было помнить загаданную цифру в течение всего эксперимента и быть готовым произнести ее после окончания эксперимента и предварительной обработки результатов тестирования.

Результаты предварительного анализа данных, проводимого по окончании регистрации вносились в протокол, предоставлялись испытуемому письменно в закрытом конверте, далее сверялись с цифрой, названной испытуемым устно и только затем с карточкой, вложенной испытуемым в конверт. Данная последовательность операций предназначалась для того, чтобы при использовании материального вознаграждения за

успешное сокрытие информации испытуемый мог быть уверен в соблюдении процедуры и условий эксперимента.

Тестирование проводилось в виде двух серий экспериментов в одной из которых для увеличения мотивации испытуемым предлагалось материальное вознаграждение за успешное сокрытие информации. Вознаграждение выплачивалось испытуемому только в том случае, если ему удавалось скрыть загаданное число. Если в результате экспресс-анализа зарегистрированных параметров загаданную испытуемым цифру удавалось установить, то вознаграждение не выплачивалось. Дополнительным условием выплаты материального вознаграждения было требование устного воспроизведения загаданной цифры по окончании тестирования. Данное требование отражало необходимость помнить загаданное число на протяжении всей процедуры тестирования.

Таким образом, программа эксперимента состояла из шестидесяти четырех предъявлений цифр из указанного набора по 8 раз каждое. Длительность каждого предъявления цифры 2.5 с. В течение этого периода даже неверные действия испытуемого не отменяли демонстрацию тестового стимула. Порядок предъявления стимулов получен с помощью генерации случайной последовательности при соблюдении требования равномерности предъявления каждого стимула. Число, полученное по материалам обработки данных, предъявляется испытуемому в письменном виде после того как испытуемый назовет загаданное число. Последним этапом проверок является сравнение предъявленного испытуемому числа с находящимся в конверте и произнесенным испытуемым. Для полного выполнения условий эксперимента испытуемый должен до вскрытия конвертов правильно назвать загаданное число.

Результаты

Всего в рамках единой экспериментальной модели было проведено две серии экспериментов с общим числом участников - 17 человек.

Физиологический тремор.

Динамику физиологического тремора анализировали по данным акселерометрической регистрации ускорений возникающих при удержании рук в горизонтальном положении. Для обработки использовались реализации длительностью 1 с., отсчитываемые от момента предъявления тестируемой цифры на экране монитора. В данной работе использовались данные регистрации психомоторных реакций ведущей руки. Полученные числовые последовательности исследовались на предмет обнаружения изменений выраженности частотных составляющих. Для этого использовали следующие вычислительные процедуры.

По трехкоординатным реализациям, соответствующим единичному предъявлению, вычислялась евклидова норма:

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_i |x_i|^2}$$

На следующем этапе из реализаций удаляли тренд с использованием сингулярного спектрального анализа и центрировали полученные временные ряды вокруг медианы распределения значений параметра в исследуемом временном диапазоне. Полученный одномерный временной ряд подвергали двукратному интегрированию. Для последующей обработки данные психомоторной активности группировали в соответствии с типом предъявляемого зрительного стимула. На рисунке 2 представлен пример реализации изложенного алгоритма.

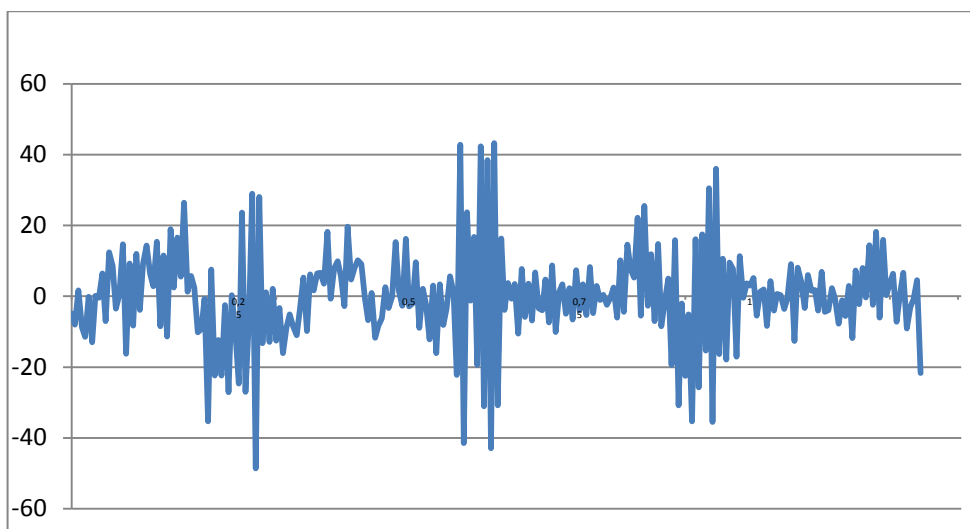


Рисунок 2. Вызванные изменения физиологического тремора ведущей руки (пример реализации полученной с использованием описанного алгоритма).

- по оси абсцисс – время (с)
- по оси ординат – амплитуда перемещения (у.ед).

Внутри исследуемого диапазона выделяли критический интервал длительностью 0.5 с, начало которого соответствует 250 мс. от начала демонстрации зрительного стимула. Момент начала критического интервала выбран на основе существующих представлений о минимальном значении времени сложной зрительно моторной реакции.

Абсолютные значения исследуемого параметра, полученные в критических интервалах, использовали для оценки степени девиантности реализаций соответствующих предъявлению каждого тестового стимула. Таким образом, для оценки вызванной динамики физиологического тремора вычислялись единичные реализации вызванной психомоторной активности по первым предъявлениям каждого стимула и усредненные значения по всем реализациям накапливаемые на временном интервале 250 – 750 мс от момента появления тестирующего стимула.

Предварительный статистический анализ данных полученных по усредненным значениям всех реализаций показал существенно менее высокие значения достоверности различий. В связи с этим, дальнейшее изложение основывается на результатах обработки первых предъявлений тестирующего стимула.

Для проведения статистического анализа вызванной психомоторной активности, каждой реализации, соответствующей определенному зрительному стимулу, присваивался ранг. Максимальному значению параметра соответствовал единичный ранг – минимальному – ранг 8 по количеству стимулов в тестовом наборе. Значения рангов загаданных испытуемыми чисел, полученные по результатам исследования вызванной динамики физиологического тремора выше описанными средствами, представлены в виде распределения на следующих диаграммах.

На рисунке 3 представлено распределение рангов загаданных чисел по данным анализа физиологического тремора в обеих сериях экспериментов. По оси абсцисс - значение ранга загаданного испытуемым числа обозначающее место на которое разработанный алгоритм помещает данное число - как вероятного кандидата на роль числа загаданного испытуемым, (соответственно наименьшее значение ранга соответствует числу которое данный алгоритм признает наиболее вероятным кандидатом на место загаданного). По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг (таким образом, в случае идеально работающего алгоритма распределение имело бы вид единственного столбца с абсциссой единица и величиной равной общему количеству экспериментов).

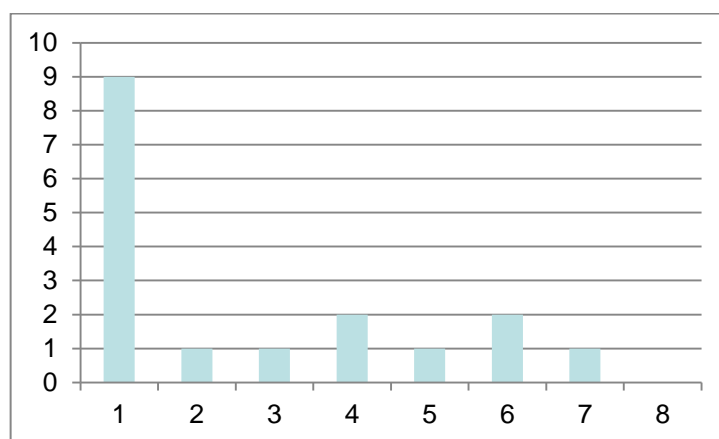


Рисунок 3. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки параметров физиологического тремора (Две серии экспериментов $N = 17$)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг.

Демонстрируемые распределения отражают эффективность применения использованного метода для обнаружения признаков изменений эмоционального состояния возникающих при сокрытии информации. Здесь и далее статистическая оценка полученных распределений будут осуществляться с точки зрения вероятности их возникновения при случайном угадывании путем генерации случайных последовательностей с равномерным распределением. Выбор равномерного распределения в качестве характеристики генеральной совокупности объясняется невозможностью статистически отклонить гипотезу об отсутствии предпочтения испытуемыми каких либо чисел из предлагаемого диапазона (0-7) по недостаточно крупной выборке ($n = 17$).

Предполагается, что полученные таким образом статистические оценки отражают эффективность применения использованного метода обработки вызванной динамики физиологического тремора для обнаружения признаков изменений эмоционального состояния возникающих при сокрытии информации. Достижимый уровень значимости при бутстреп-анализе критерия согласия Колмогорова-Смирнова по алгоритму, подробно изложенному в (Kroese D., Chan J., 2014), для всей совокупности ($N = 17$) составил – 0,0006*.

На рисунках 4 и 5 в полностью аналогичной рисунку 3 форме представлены результаты, полученные отдельно по первой серии (с материальным вознаграждением) и второй (без материального вознаграждения) серии экспериментов.

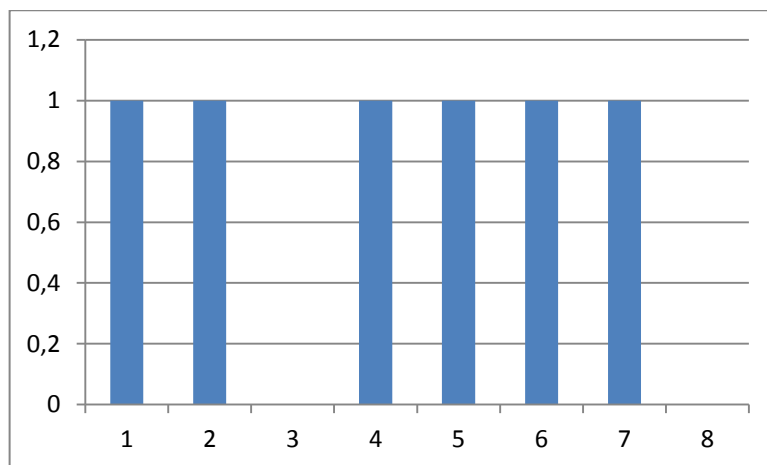


Рисунок 4. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки параметров физиологического тремора (Первая серия экспериментов $N = 6$)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг

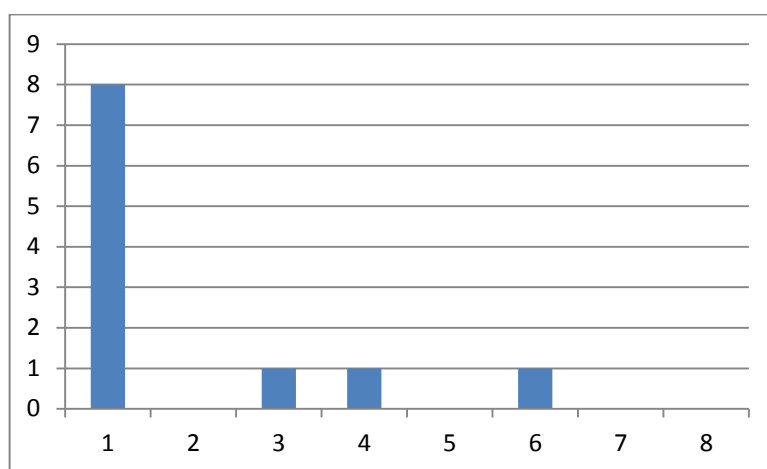


Рисунок 5. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки параметров физиологического тремора (Вторая серия экспериментов $N = 11$)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг.

Достижимые уровни значимости при раздельном для двух групп бутстреп-анализе критерия согласия Колмогорова-Смирнова по алгоритму, подробно изложенному в (Kroese D., Chan J., 2014) составили соответственно:

для группы получавших вознаграждение (N=6) – 0,8

для группы не получавших вознаграждение (N=11) – 0,0001*

Периферическая гемодинамика

Динамику периферического кровотока анализировали по данным фотоплетизмографической регистрации кровенаполнения периферических сосудов кожи. Для обработки использовались реализации длительностью 3 с. отсчитываемые от момента предъявления тестируемой цифры на экране монитора. По полученным последовательностям вычисляли период изменения периферического кровотока. Для этого из реализаций удаляли тренд с использованием сингулярного спектрального анализа и центрировали полученные временные ряды вокруг медианы распределения значений параметра в исследуемом временном диапазоне. Далее, осуществлялось вычисление функции средней амплитуды различий (average magnitude difference – AMDF) по следующей формуле:

$$r_m(k) = \sum_{n=1}^{N_m-k+1} |x_m(n) - x_m(n+k-1)|, 0 < k < N_m$$

где $x(n)$ – исходная последовательность.

Для последующей обработки полученные реализации группировали в соответствии с типом предъявляемого зрительного стимула. На рисунке 7 представлен пример реализации изложенного алгоритма.

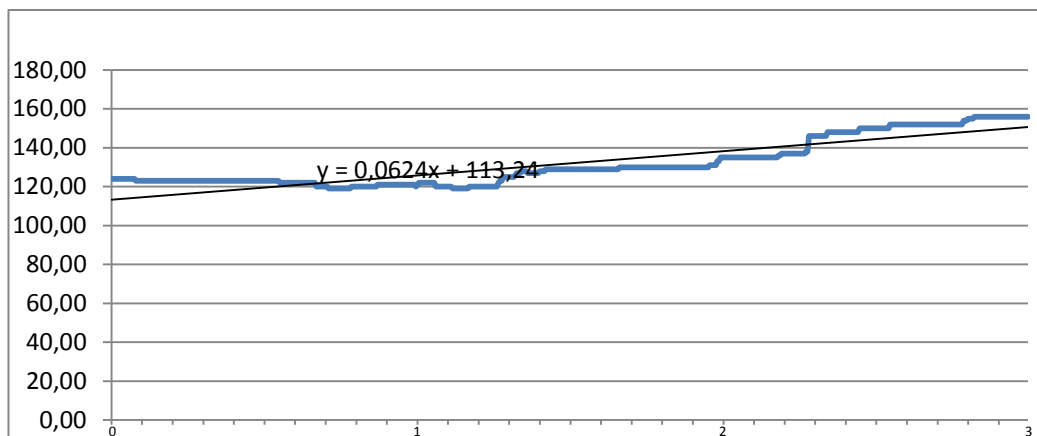


Рисунок 7. Вызванные изменения периода периферической гемодинамики (пример оценки увеличения периода с использованием линейной регрессии).

- по оси абсцисс – время (с)
- по оси ординат – значения периода (у.ед).

Для оценки направления и степени выраженности изменений периода периферической гемодинамики использовался коэффициент линейной регрессии. По результатам сравнения вызванных изменений периода периферической гемодинамики каждой реализации соответствующей определенному зрительному стимулу присваивался ранг. Аналогично подходу использованному для статистического анализа изменений физиологического тремора, максимальному положительному значению коэффициента регрессии соответствовал единичный ранг – максимальному отрицательному – ранг 8.

Значения рангов загаданных испытуемыми чисел полученные по результатам исследования периода изменения периферической гемодинамики представлены в виде распределения на следующих диаграммах. На рисунке 8 представлено распределение рангов полученное при статистическом исследовании периферической гемодинамики для всех испытуемых ($N = 17$). Способ построения и интерпретация графиков полностью аналогичны использованным для физиологического тремора.

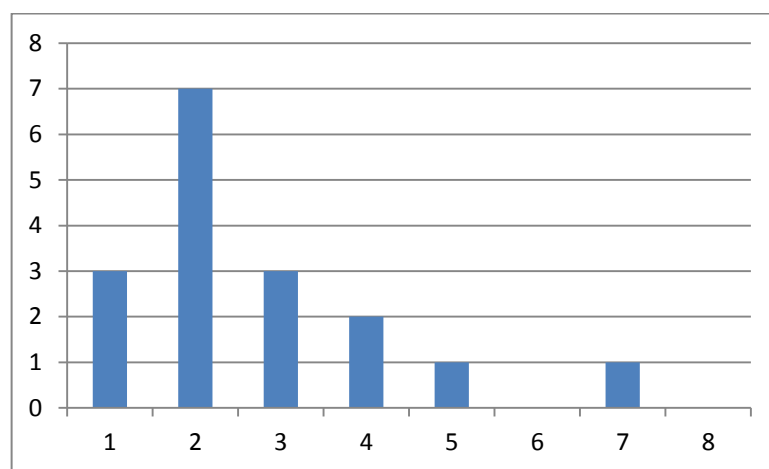


Рисунок 8. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки периода изменения периферической гемодинамики (Две серии экспериментов N=17)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг.

Дальнейший статистический анализ основывался на предположениях уже использованных для физиологического тремора и был полностью аналогичен по форме (Kroese D., Chan J., 2014). Достигаемый уровень значимости при бутстреп-анализе критерия согласия Колмогорова-Смирнова для всей совокупности ($N = 17$) оказался равен 0,0019*.

На рисунках 9 и 10 в полностью аналогичной рисунку 8 форме представлены результаты, полученные отдельно по первой серии (с материальным вознаграждением) и второй (без материального вознаграждения) серии экспериментов.

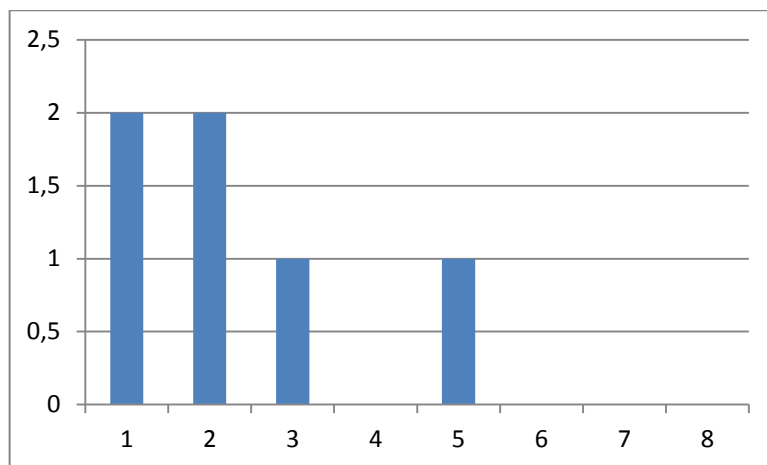


Рисунок 9. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки периода изменения периферической гемодинамики (Первая серия экспериментов N = 6)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг

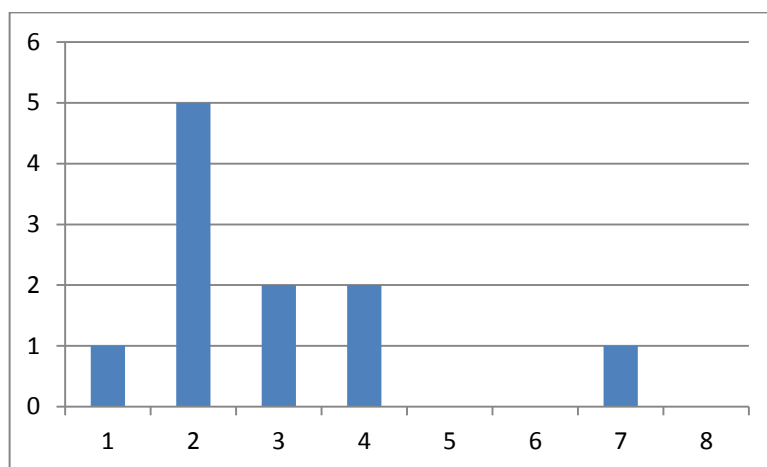


Рисунок 10. Распределение рангов загаданного числа полученное по результатам оценки периода изменения периферической гемодинамики (Вторая серия экспериментов N = 11)

- По оси абсцисс – значение ранга загаданного числа
- По оси ординат – количество экспериментов в которых загаданное число имело обозначенный по оси абсцисс ранг

Достижимые уровни значимости при раздельном для двух групп бутстреп-анализе критерия согласия Колмогорова-Смирнова по алгоритму из (Kroese D., Chan J., 2014) составили соответственно:

для группы получавших вознаграждение (N=6) – 0,0489*

для группы не получавших вознаграждение (N=11) – 0,0097*

Обсуждение

В результате выполненной работы с некоторым основанием можно утверждать, что использованные подходы предоставляют возможность выявления факта сокрытия информации с использованием параметров физиологического тремора и периферической гемодинамики испытуемого. Полученные в ходе исследования данные позволяют говорить о применимости разработанных психофизиологических методов к решению задач выявления факта сокрытия информации. Оба психофизиологических параметра продемонстрировали достоверное соответствие предполагаемым изменениям эмоционального состояния возникающим при сокрытии информации.

Вопреки ожиданиям, увеличение мотивации посредством введения материального вознаграждения, очевидно, не оказало положительного влияния на выраженность эмоциональных реакций связанных с сокрытием информации и эффективность их оценивания. Данное обстоятельство может иметь вне физиологическое объяснение, связанное с тем, что введение материального вознаграждения привело к попыткам скрытого противодействия проведению эксперимента со стороны испытуемых.

Предложенный методический подход, связанный с анализом психомоторных реакций на фоне демонстрации сигнала зрительной обратной связи, оказался эффективным средством снижения вариабельности и повышения качества регистрации вызванных изменений физиологического тремора. Аналогичный подход, направленный на увеличение качества регистрации фотоплетизмограммы с использованием акселерометрической регистрации перемещений регистратора, в настоящее время, получает все более широкое распространение (Foo J., Wilson S., 2006).

Как указывалось выше, попытки использовать физиологический тремор как средство оценки эмоциональных состояний предпринимались и ранее, однако все они эксплуатируют стандартную парадигму регистрации и не предполагают попыток улучшения однородности фоновых характеристик физиологического тремора. Кроме того, для анализа изменений физиологического тремора в основном использовали оценки, получаемые на довольно значительных по продолжительности временных отрезках (Yumatov E. et.al. 2001), что не позволяет использовать их для исследования более скоротечных эмоциональных реакций разворачивающихся в течение нескольких секунд. Указанные обстоятельства затрудняют сравнительный анализ полученных результатов с литературными данными, оставляя возможность лишь качественных аналогий.

Полученное в эксперименте снижение достоверности получаемых различий при увеличении числа усредняемых реализаций можно считать характерным признаком вызванных реакций на эмоционально значимые стимулы. Связанное с привыканием снижение реактивности испытуемого традиционно считается основным ограничивающим фактором при моделировании в эксперименте изменений эмоционального состояния, с использованием многократного предъявления стандартизированных наборов эмоционально значимых стимулов (Carvalho S. et.al., 2012).

Выводы.

Максимальная амплитуда вызванных изменений физиологического тремора ведущей руки в период 250 – 750 мс. от момента предъявления тестирующего стимула достоверно соответствовала возникновению эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации в группе работавшей без вознаграждения (достигаемый уровень значимости – 0.0001).

Увеличение периода изменений периферической гемодинамики на трехсекундном интервале от момента предъявления тестирующего стимула в обеих группах достоверно (достигаемый уровень значимости - 0.0489 и 0.0006) соответствовало возникновению эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации.

Умеренное увеличение мотивации к прохождению тестирования с использованием небольшого материального вознаграждения не привело к достоверному увеличению эффективности предложенных методов оценки эмоциональных состояний связанных с сокрытием информации.

Список использованной литературы

1. Алексеев Л. Г. Психофизиология детекции лжи. Методология. М. 2011.
2. Варламов В.А., Варламов Г.В. Компьютерная детекция лжи. Печатный дом «Илигар», 2010.
3. Abbod M., Chiou Y.R., Yang S.H., Fan S.Z., Shieh J.S., Developing a monitoring psychological stress index system via photoplethysmography // *Artif. Life Robotics*. 2011. 16. 430–433.
4. Albert M. V., Kording K. P. Determining posture from physiological tremor // *Exp. Brain. Res.* 2011. 215. 247–255.
5. Alen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // *Physiol. Meas.* 2007. 28. 1–39.
6. Alloway W. R., Honts C. R. An information countermeasure has no effect on the validity of the Test for Espionage and Sabotage (TES) // Paper presented at the annual meeting of the Rocky Mountain Psychological Association. Park City. Utah. April. 2002.
7. Álvarez A., Cearreta I., López J. M., Arruti A., Lazkano E., Sierra B., Garay N. A comparison using different speech parameters in the automatic emotion recognition using feature subset selection based on evolutionary algorithms // *Text, Speech, and Dialog*. 2007. 4629. 423–430.
8. Amato-Henderson S. L., Honts C. R., Plaud J. J. Effects of misinformation on the Concealed Knowledge Test // *Psychophysiology*. Abstract. 1996. 33. 18.
9. Apartis E. Clinical neurophysiology of psychogenic movement disorders: How to diagnose psychogenic tremor and myoclonus // *Clinical Neurophysiology*. 2014. 44. 417–424.
10. Barland G. H. The polygraph test in the US and elsewhere // *The polygraph test: Lies, truth, and science* / In Gale A. ed. Beverly Hills. CA. Sage, 1988. 73-95.
11. Barland G. H., Honts C. R., Barger S. D. Studies of the accuracy of security screening polygraph examinations. Department of Defense Polygraph Institute. Fort McClellan. Alabama. 1989.

12. Beuter A., Edwards R., Titcombe M. S. Data analysis and mathematical modeling of human tremor / In *Nonlinear Dynamics in Physiology and Medicine*. 2003. Springer.
13. Carvalho S., Leite J., Galdo-Alvarez S., Gonçalves O. The Emotional Movie Database (EMDB): A Self-Report and Psychophysiological Study // *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2012. 37. 279–294
14. Cook T. D., Campbell D. T. *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*. Boston. Houghton Mifflin, 1979.
15. C. Douniama, C.U. Sauter, and R. Couronne Acquisition of Parameters for Noninvasive Continuous Blood Pressure Estimation – Review of the Literature and Clinical Trial / Dössel O., Schlegel W. eds. *IFMBE Proceedings 2009*. 25/IV. 2151–2154.
16. Egermann H., Pearce M., Wiggins G., McAdams S. Probabilistic models of expectation violation predict psychophysiological emotional responses to live concert music // *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2013. 13. 533 – 553.
17. Elaad E. Detection of guilty knowledge in real-life criminal investigations//*Journal of Applied Psychology*. 1990. 75. 521-529.
18. Foo J., Wilson S. A computational system to optimize noise rejection in photoplethysmography signals during motion or poor perfusion states. // *Med. Biol. Eng. Comput*. 2006. 44. 140-145.
19. Gallup Organization. Survey of the members of the Society for Psychophysiological Research concerning their opinions of polygraph test interpretations // *Polygraph*. 1984. 12. 153-165.
20. Granhag P. A., Stromwall L. A. *The Detection of Deception in Forensic Contexts*. Cambridge University Press, 2004. 103-120
21. Hallett M. Classification and treatment of tremor. *JAMA*. 1991. 266.115-117.
22. Hagblad J., Lindberg L.G., Andersson A. K., Bergstrand S., Lindgren M., Ek A.C., Folke M., Linde´n M. A technique based on laser Doppler flowmetry and photoplethysmography for simultaneously monitoring blood flow at different tissue depths // *Med. Biol. Eng. Comput*. 2010. 48.415–422.

23. Hira S., Furumitsu I. Polygraphic examinations in Japan: Application of the guilty knowledge test in forensic investigations // *International Journal of Police Science and Management*. 2002. 4. 16-27.
24. Honts C. R., Amato S. Countermeasures // *Handbook of polygraph testing* / In Kleiner M. ed. 2002. London. Academic, 251-264.
25. Honts C. R., Thurber S., Cvencek D., Alloway W. General acceptance of the polygraph by the scientific community: Two surveys of professional attitudes // Paper presented at the American Psychology-Law Society biennial meeting. Austin. Texas. March. 2002.
26. Huang F.H., Yuan P.J., Lin K.P., Chang H.H., Tsai C.L. Analysis of Reflectance Photoplethysmograph Sensors // *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering*. 2011. 5. 11.
27. Iacono W. G., Lykken D. T. The validity of the lie detector: Two surveys of scientific opinion // *Journal of Applied Psychology*. 1997. 82. 426-433.
28. Iacono W. G., Lykken D. T. The scientific status of research on polygraph techniques: The case against polygraph tests // *Modern scientific evidence: The law and science of expert testimony* / In Faigman D. L., Kaye D., Saks M. J., Sanders J. eds. St. Paul. MN. West. 2002. II. 483-538.
29. Kendall K. Vocal Tremor / In *Mechanisms and Emerging Therapies in Tremor*
Kleinmuntz B., Szucko J. A field study of the fallibility of polygraphic lie detection // *Nature*. 1984. 308. 449-450.
30. Kraitl J., Ewald H., Gehring H. An optical device to measure blood components by a photoplethysmographic method // *J. Opt. A. Pure Appl. Opt.* 2005. 7. 318–324.
31. Kroese D., Chan J., *Statistical Modeling and Computation*. Springer. 2014.
32. Liu Z., Zhou Y., Yi R., He J., Yang Y., Luo L., Dai Y., Luo X. Quantitative research into the deconditioning of hemodynamic to disorder of consciousness carried out using transcranial Doppler ultrasonography and photoplethysmography obtained via finger-transmissive absorption // *Neurol. Sci.* 2016. 37. 547–555.
33. Lombroso C. *L’Homme Criminel*. 2nd edn. Paris. Felix Alcan. 1895.

34. Lykken D. T. A tremor in the blood: Uses and abuses of the lie detector. New York. Plenum Trade, 1998.
35. Maeda Y., Sekine M., Tamura T. The Advantages of Wearable Green Reflected Photoplethysmography // Springer Science+Business Media. LLC 2010. J. Med. Syst. 2011. 35. 829–834.
36. Marsden C. D., Owen D. A. L. Mechanisms underlying emotional variation in parkinsonian tremor // Neurology. 1967. 17. 711-715.
37. Merckelbach H., Smulders F., Jelicic M., Meijer E. Unpublished survey document distributed October 2003. University of Maastricht, the Netherlands. 2003.
38. Minakuchi E., Ohnishi E., Ohnishi J., Sakamoto S., Hori M., Motomura M., Hoshino J., Murakami K., Kawaguchi T. Evaluation of mental stress by physiological indices derived from finger plethysmography // Journal of Physiological Anthropology. 2013. 32. 17
39. Otter-Henderson K., Honts C. R., Amato S. L. Spontaneous countermeasures during polygraph examinations: An apparent exercise in futility // Polygraph. 2002. 31. 9-14.
40. Pahwa R., Lyons K. Essential tremor: differential diagnosis and current therapy // Am. J. Med. 2003. 115.2. 134–42.
41. Patrick C. J., Iacono W. G. Psychopathy, threat and polygraph test accuracy // Journal of Applied Psychology. 1989. 74. 347-355.
42. Patrick C. J., Iacono W. G. Validity of the control question polygraph test: The problem of sampling bias // Journal of Applied Psychology. 1991. 76. 229-238.
43. Podlesny J. A. Is the guilty knowledge polygraph technique applicable in criminal investigations? A Review of FBI case records // Crime Laboratory Digest. 1993. 20. 57-61.
44. Podlesny J. A., Truslow C. M. Validity of an expanded-issue (modified general question) polygraph technique in a simulated distributed-crime- roles context // Journal of Applied Psychology. 1993. 78. 788-797.
45. Raskin D. C., Honts C. R. The comparison question test // Handbook of polygraph testing / In Kleiner M. ed. London. Academic. 2002. 1-49.
46. Sushkova O. S., Gabova A. V., Karabanov A. V., Kershner I. A., Obukhov K. Yu., Obukhov Yu. V. Time–frequency analysis of simultaneous measurements of electroencephalograms,

electromyograms, and mechanical tremor under Parkinson disease // Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. 60 .10. 1109–1116.

47. Tamura T., Maeda Y., Sekine M., Yoshida M. Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present // Electronics. 2014. 3. 282-302.

48. Theertha A., Kayalvizhi N., Rolant G. Estimating Correlation between Arterial Blood Pressure and Photoplethysmograph / J. Goh et al. eds., The 17th International Conference on Biomedical Engineering IFMBE Proceedings 61. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017

49. Togawa T., Tamura T., Öberg P.Å. Biomedical Sensors and Instruments. 2nd ed. New York. NY. USA. CRC Press. 2011. 19–190.

50. Verschuere B. Heart rate orienting to guilty knowledge // Paper presented at the annual meeting of the Society for Psychophysiological Research. October. 2003.

51. Yumatov E., Kuz'menko V., Badikov V., Glazachev V. Ivanova Emotional Stress in Students during Examinations // Human Physiology, Vol. 27, No. 2, 2001, pp. 221–227.