

Киберфизическая диагностика факторов риска пограничных психических состояний

Бухтияров И.В.¹ д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, директор
Жовнерчук Е.В.^{1,2} д.м.н., ведущий научный сотрудник, доцент кафедры психиатрии, наркологии и психотерапии¹; профессор кафедры психиатрии, наркологии и психотерапии²
Сериков В.В.¹ к.психол.н., заведующий лабораторией физиологии и практической эргономики
Хатин Д.Е.¹ младший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики
Московенко А.В.¹ младший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики

1 – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. Н.Ф. Измерова»
Москва, Россия

2 – Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России
Москва, Россия

В данном исследовании разрабатывается модель киберфизической системы, позволяющая диагностировать пограничные и отклоняющие психические состояния, и помогать врачам психиатрам при дифференциации различных пограничных состояний и подбору соответствующих методов психокоррекции. Обосновывается применения технологий «интернет вещей» и системы поддержки принятия врачебных решений в предлагаемой нами киберфизической системе. На первом этапе исследования был произведён сбор видеоматериала с участием испытуемых при беседе в кабинете психиатра и последующая обработка в программе по распознаванию эмоций. После было проведено качественное сравнение двигательных лицевых единиц и показателей эмоций с данными клинических психологических тестов: Стандартизированный многофакторный метод исследования личности СМИЛ, рефлексометрии и памяти на числа. Выявлена статистически значимая корреляция восемнадцати двигательных единиц мимических мышц лица по системе кодирования FACS и шести показателей эмоций со шкалами СМИЛ и параметрами тестов рефлексометрии и памяти у 36 пациентов со средним возрастом 26,4±5,3 года. Диапазон полученных корреляций варьируется от $r=0,252$ до $r=0,641$. Полученные результаты указывают на возможность использования данной киберфизической системы в диагностике факторов риска отклоняющегося поведения.

Ключевые слова: киберфизическая система, модель, система поддержки принятия врачебных решений, показатели эмоций, погранично-психическое состояние, психоэмоциональное состояние.

Для цитирования: Бухтияров И.В., Жовнерчук Е.В., Сериков В.В., Хатин Д.Е., Московенко А.В. Киберфизическая диагностика факторов риска пограничных психических состояний. *Психическое здоровье* 2020; (8): 30-38.

DOI: 10.25557/2074-014X.2020.08.30-38

Автор для корреспонденции: Жовнерчук Евгений Владимирович; e-mail: zheviy@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 06.08.2020.

Cyberphysical diagnosis of risk factors for borderline mental states

Bukhtiyarov I.V., Zhovnerchuk E.V., Serikov V.V., Khatin D.E., Moskovenko A.V.

1 – Scientific Research Institute of Occupational Medicine. N.F. Izmerova
Moscow, Russia

2 – Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution FSCC FMBA of Russia
Moscow, Russia

This study develops a model of a cyber-physical system to diagnose borderline and deflecting mental states and assist psychiatrists in differentiating between different borderline states and selecting appropriate methods of psychological correction. The application of Internet technologies and medical decision support systems in the cyberphysical system we offer is justified. At the first stage of the study, video material was collected with the participation of the subjects during a conversation in the psychiatrist's office and further processing in an emotion recognition program. After that, motor facial units and emotion indicators were compared with the data of clinical psychological tests: a standardized multifactorial method of investigating the personality of mass media, reflexometry and memory on numbers. A clear correlation of eighteen motor units of facial mimic muscles by the FACS coding system and six emotion indexes with MML scales and parameters of reflexometry and memory tests was revealed in 36 patients with the average age of 26.4±5.3 years. The range of the obtained correlations varies from $r=0.252$ to $r=0.641$. That shows the possibility of using this cyberphysical system in the diagnostics of deviant behavior.

Keywords: cyberphysical system, model, medical decision support system, emotion indicators, borderline psychic state, psycho-emotional state.

For citation: Bukhtiyarov I.V., Zhovnerchuk E.V., Serikov V.V., Khatin D.E., Moskovenko A.V. Cyberphysical diagnosis of risk factors for borderline mental states. *Psikhicheskoye zdorovie [Mental Health]* 2020; (8): 30-38. (In Russ.).

DOI: 10.25557/2074-014X.2020.08.30-38

Corresponding author: Zhovnerchuk Evgeny; **e-mail:** zheviy@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Accepted: 06.08.2020.

Введение

С техническим прогрессом, затронувшим все сферы жизнедеятельности человека, появилось больше возможностей оптимизировать работу на основе внедрения технологий промышленной революции «Industry 4.0» при помощи киберфизических систем (КФС) [1].

Данный термин в 2006 году предложила вести директор по встроенным и гибридным системам Национального научного фонда США Хелен Джилл для обозначения комплексов, состоящих из природных объектов, искусственных подсистем и контроллеров [2].

В КФС физические и цифровые компоненты тесно взаимосвязаны. Каждая компонента работает в разных пространственных и временных масштабах, проявляет множество различных поведенческих модальностей и взаимодействует друг с другом множеством способов, которые меняются в зависимости от контекста [3].

В физическом контексте исполнительные элементы внутри системы на основе получаемых данных вносят изменения во внешнюю среду пользователей. В виртуальном контексте КФС применяются для сбора данных о виртуальных действиях пользователей. Затем КФС реагируют на такие данные, прогнозируя действия или потребности пользователей в целом [4]. Другими словами, это физические и вычислительные компоненты, интегрированные в едином цифровом пространстве посредством сетей. В цифровой среде информацию собирают, анализируют и обмениваются ею. Управляя физическими процессами, вносятся коррективы в киберфизическую среду [5, 6].

Отличительными особенностями КФС от традиционных компьютерных и информационных систем являются: цифровая интеграция, цифровая распределенная коммуникация, параллельное исполнение нескольких процессов, наличие нисходящих, восходящих и регулирующих потоков, сочетание параллельного и последовательного управления [7]. Управление осуществляется как путем изменения параметров, так и путем изменения структуры КФС с перераспределением функций между компонентами [8].

Однако у КФС есть и недостатки. Поскольку исполнительные элементы оказывают влияние на окружающую среду, которая непредсказуема и поэтому КФС должны быть способны продолжать работу в непредвиденных обстоятельствах и адаптироваться в случае сбоев. Необходимо защищать как поступающие данные, так и хранимые данные, собранные для использования в будущем. И наконец, КФС основываются на разнородных приложениях и беспроводных коммуникациях, что зачастую усложняет обеспечение безопасности [9].

Концепции КФС как систем управления и основы управления приняли эксперты Европы, Японии, Индии, Китая, а Национальный научный фонд США (NSF) определил КФС системы как ключевую область исследований [10]. Это свидетельствует о том, что развитие КФС критически важно с точки зрения национальных интересов.

Область применения КФС распространяется практически на все виды человеческой деятельности, включая здравоохранение. Для того чтобы лечение было эффективным, оно должно быть адаптировано индивидуально для каждого пациента и должно меняться со временем по мере изменения состояния пациента. Поэтому в здравоохранении КФС используются для дистанционного мониторинга физических показателей пациентов в реальном времени с целью уменьшения потребностей в госпитализации или для улучшения ухода за инвалидами и пожилыми людьми. КФС могут дистанционно контролировать дозировку, если пациент пропускает лечение или принимает лекарства ненадлежащим образом. Кроме того, КФС применяются в нейробиологических исследованиях для изучения функций организма человека с использованием интерфейсов между мозгом и оборудованием и терапевтической робототехники [11–13].

К ключевым элементам КФС в здравоохранении относятся системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированные в медицинскую информационную систему (МИС).

Разработанная Стэнфордом в 1970 году первая эффективная экспертная система (ЭС) MYCIN дала бурное начало исследованию по использованию искусственного интеллекта (ИИ) в медицине. Главным функционалом развивающихся ЭС являлась помощь врачу в постановке правильных диагнозов. За период с 1970 года по 2020 год понимание этого термина расширилось и трансформировалось в понятие *система помощи в принятии решения* (СППР) [14].

Современная ЭС СППР — это система, помогающая принимать наиболее эффективные многокритериальные решения, путём сбора и анализа большого количества информации. Её многокритериальность заключается в том, что принимаемые решения оцениваются по совокупности многих критериев, рассматриваемых одновременно. Возникновение СППР — это результат слияния управленческих информационных систем и систем по управлению базами данных [15].

В медицине СППР разделяют на интеллектуальные системы поддержки принятия управленческих решений в здравоохранении (ИСППР) и на систему поддержки принятия врачебных решений (СППВР). В функционал ИСППР входит критический анализ всех принятых решений, управление ресурсами и лечебным процессом [16]. СППВР призвана сократить время диагностики и сформировать полноценную информацию о состоянии пациента; повысить эффективность распределения имеющихся ресурсов, а также снизить количество врачебных ошибок, летальных исходов и малоэффективных методов диагностики. Внедрение подобных ЭС позволяет избежать необоснованных медицинских расходов на диагностику и лечение пациентов [17, 18].

Специалисты консалтинговой компании Accenture в своём исследовании 2019 года Digital Health Tech Vision говорят, что ИИ улучшит операционные и клинические показатели медицинских учреждений. В их же опросе 2019 года 41% участников рынка здравоохранения сошлись с ними во мнении [19].

К КФС можно отнести и управление большими данными, облачные вычисления, кибербезопасность и технологию «интернет вещей» (Internet of Things — IoT). В КФС последний компонент из перечисленных имеет самое важное значение для эффективной поддержки принятия решений, сбора и передачи информации внутри информационной среды и из физической среды в информационную. Проще назвать IoT сетью вещей [20, 21].

В прогнозе от компании Gartner, являющейся одной из наиболее авторитетных в области аналитики развития и распространения технологий, ожидаемый срок массового внедрения платформ на основе IoT определен в 5–10 лет [22].

Компания Cisco и McKinsey Global Institute оценили общий экономический эффект IoT к 2023 и 2025 году в 14,4 и 11,1 трлн. долларов соответственно, что эквивалентно 14% и 11% мировой экономики [23].

В 2018 г. ВОЗ в рамках своих стратегических приоритетов и целей, направленных на обеспечение здоровой жизни и благополучия всех людей в любом возрасте, стала оказывать содействие государствам-членам в развитии МИС [24]. В 2019 г. по оценкам опрошенных экспертов было выделено шесть наиболее перспективных направлений цифровой медицины. В тренды вошли ИИ и большие данные с её аналитикой, что как раз и является составными частями СППВР. Также была выделена технология «интернета медицинских вещей» (The Internet of Medical Things — IoMT) [25].

Указом Президента важность развития и внедрения КФС в повседневную жизнь подтверждается в Федеральной целевой программе «Цифровая экономика» [26]. В том числе в Федеральной программе имеется пункт развития и внедрения СППР и IoT.

Разработка КФС в перспективе приведет примерно к таким же изменениям во взаимодействии с физическим миром, как те, к которым привело в свое время появление Интернета [27].

Для клиники профессиональных заболеваний СППВР, интегрированная в МИС вкупе с программами по распознаванию эмоций, поможет заранее выявить тревожную и депрессивную симптоматику и другие факторы риска пограничных психических состояний. В новой «цифровой реальности» КФС поможет врачам психиатрам справляться со всей возрастающей нагрузкой, а медицинским учреждениям — сократить расходы.

Цель исследования: разработать модель КФС для диагностики факторов риска пограничных психических состояний и принятия врачебного решения на основе взаимосвязи дистанционного распознавания психоэмоционального состояния с двигательными единицами рефлекторной мимической активности с данными клинических психологических тестов.

Задачи исследования:

1. Описать элементы предлагаемой модели КФС;
2. Апробировать модель КФС с помощью автоматизированной программы дистанционной диагностики распознавания эмоций;
3. На основе статистического анализа провести качественное сравнение результатов программной обработки с данными клинических психологических тестов;
4. Выявить факторы риска на основе взаимосвязи двигательных лицевых единиц и показателей эмоций с показателями клинических психологических тестов.

Методы

Сбор данных проводился в центре психофизиологической диагностики профессионально-психологического отбора на приеме у врача-психиатра. У обследованных в результате психодиагностики были выявлены факторы риска, являющиеся противопоказанием к определенному виду профессиональной деятельности, связанной с опасными условиями труда.

Выборка исследования составила 36 человек, которые были рекомендованы клиническим психологом для консультации психиатра. Средний возраст всех испытуемых составил $26,4 \pm 5,3$ года. Средний возраст среди мужчин ($n=32$, $26,9 \pm 5,5$ года), а среди женщин ($n=4$, $22,7 \pm 1,5$ года). Исследование проводилось на базе ФГБНУ «НИИ Медицины труда».

Все испытуемые прошли психологическое исследование оценки «профиля личности» по методике «Стандартизированный многофакторный метод исследования личности СМИЛ (модифицированный тест Minnesota Multiphasic Personality Inventory MMPI)».

Оценка данных, полученных при использовании методики СМИЛ, проводилась в баллах: от 0 до 29 баллов — низкое значение, от 30 до 44 баллов — пониженное значение шкалы, от 45 до 55 — среднее значение шкалы, от 56 до 70 — повышенное значение, выше 70 — высокое значение [29].

Средние значения оценочных шкал СМИЛ по всей выборке испытуемых:

- L (шкала лжи) — $63,3 \pm 12,4$;
- F (шкала достоверности) — $56,8 \pm 7,7$;
- K (шкала коррекции) — $65,2 \pm 7,3$.

Средние значения основных клинических шкал СМИЛ по всей выборке испытуемых:

- 1-я (шкала ипохондрии) — $53,6 \pm 9,4$;
- 2-я (шкала депрессии) — $53,8 \pm 7,4$;
- 3-я (шкала истерии) — $52,6 \pm 8,4$;
- 4-я (шкала психопатии) — $57,6 \pm 8,4$;
- 5-я (шкала маскулинность/фемининность) — $51,8 \pm 8,3$;
- 6-я (шкала паранойи) — $48,5 \pm 7,4$;
- 7-я (шкала психастении) — $54,3 \pm 6,8$;
- 8-я (шкала шизофрении) — $58,4 \pm 8,4$;
- 9-я (шкала гипомании) — $60,8 \pm 9,2$;
- 10-я (шкала социальной интроверсии) — $47,6 \pm 3,7$.

Вся выборка испытуемых прошла ряд тестов по рефлексометрии (Простая зрительно-моторная реакция ПЗМР, Сложная зрительно-моторная реакция СЗМР, Реакция на движущийся объект РДО, Проба Мюнстерберга (выявление скрытых слов), Корректирующая проба) и памяти на числа для определения психофизиологического состояния испытуемого. Среднее значение

по всей выборке испытуемых для: ПЗМР (время реакции — $309 \pm 63,2$ мс, стабильность реакции — $83,2 \pm 33,4$ мс, количество фальстартов — $0,2 \pm 0,6$); СЗМР (время реакции — $421,2 \pm 50,4$ мс, стабильность реакции — $51,7 \pm 25,5$ мс, количество фальстартов — $0,4 \pm 0,7$, количество ошибок $1,4 \pm 1,2$); РДО (объем опережения — $31,4 \pm 9,2$ мс, объем запаздывания — $53,3 \pm 14,6$ мс); проба Мюнстерберга (количество ошибок — $4,7 \pm 1,8$, время выполнения — 273 ± 40 сек); корректирующая проба (время выполнения — $274,2 \pm 58,3$, количество ошибок — $8,3 \pm 17,4$); память на числа (коэффициент точности — $98,6 \pm 2,3$, объем информации $7,1 \pm 1,8$).

Статистическим анализом выявлена четкая корреляционная связь между методиками психологического и психофизиологического состояний. С увеличением времени реакции ПЗМР растёт значение шкал психопатии, паранойи, шизофрении и гипомании ($r=0,329$, $r=0,405$, $r=0,284$, $r=0,286$ соответственно), а увеличение стабильности реакции ПЗМР влияет на рост шкал F и депрессии ($r=0,296$, $r=0,262$ соответственно) и на уменьшение шкалы K ($r=-0,317$). Увеличение времени реакции СЗМР влияет на рост значений шкал ипохондрии ($r=0,410$), депрессии ($r=0,364$), истерии ($r=0,368$), психопатии ($r=0,670$), паранойи ($r=0,389$), психастении ($r=0,428$), шизофрении ($r=0,537$) и гипомании ($r=0,264$), а рост количества фальстартов СЗМР снижает значения шкал ипохондрии ($r=-0,439$), психопатии ($r=-0,350$) и социальной интроверсии ($r=-0,284$). В то же время увеличение количества ошибок СЗМР влияет на уменьшение значений шкал K ($r=-0,311$), социальной интроверсии ($r=-0,299$) и рост шкалы гипомании ($r=0,310$). Рост значений объема опережения РДО увеличивает значение шкалы паранойи ($r=0,311$) и уменьшает значение шкалы гипомании ($r=-0,294$). Рост значений объема запаздывания РДО увеличивает значение шкалы F ($r=0,311$) и уменьшает значение шкалы L ($r=-0,321$). Увеличение количества ошибок при пробе Мюнстерберга и времени выполнения при корректирующей пробе увеличивает значение шкал F ($r=0,296$) и социальной интроверсии ($r=0,290$) соответственно.

Коэффициент точности тестирования на числовую память имеет обратную корреляционную связь с оценочными шкалами СМИЛ L ($r=-0,250$) и K ($r=-0,448$), а объем информации со шкалами ипохондрии ($r=-0,360$), психопатии ($r=-0,281$), паранойи ($r=-0,304$) и шизофрении ($r=-0,304$).

Связь при корреляционном сравнении разных тестов на выявление функционального состояния человека даёт основания предположить, что данную методику можно применить и для сравнения двигательных единиц на лице с показателями тестов на функциональное состояние человека.

Каждый видеоролик испытуемых прошёл обработку в программе распознаванию эмоций по выражению лица «ЕмоDetect версия 3.0.2». По каждому испытуемому был получен подробный отчёт в виде таблиц, в которых были указаны 18 задействованных во время беседы двигательных единиц на лице и их процентное значение, изображённых в **табл. 1**.

В отчётную таблицу входят и процентные значения показателей эмоций. Всего было задействовано шесть эмоций: счастье, гнев, печаль, отвращение, страх и удивление.

К связке СППВР в МИС и IoT технологии мы добавили компоненты: устройства для сбора информации из физической среды, хранилище для поступающего потока информации, компьютер для обработки первичной информации и программу по распознаванию психоэмоционального состояния. На основе этих компонентов мы сформировали предлагаемую нами КФС модель для диагностики погранично-психических состояний и помощи врачам психиатрам и психологам (**рис. 1**).

Главным дополнительным элементом в предлагаемой нами модели послужила программа по распозна-

ванию эмоций «Эмодетект». Именно этот компонент и формирует из IoT в связке с другими вышеперечисленными компонентами КФС.

Программа основана на системе кодирования лицевых движений FACS, разработанная Полом Экманом и Уоллесом Фризенем в 1978 году. Двигательные единицы или экшн юниты обозначаются как AU [28].

Компьютер играет роль платформы, куда устанавливаются программы по обработке в зависимости от типа биометрических данных. В нашем случае это видеоматериал с изображением испытуемого, получаемый от IP камер.

Первый этап разработки модели КФС был разделён на подэтапы:

- сбор видеоматериала с участием испытуемых при беседе в кабинете психиатра;
- обработка в программе по распознаванию психоэмоционального состояния;
- качественное сравнение результатов программной обработки с данными клинических психологических тестов.

Работа в статье посвящена третьему подэтапу исследования статистических связей результатов программной обработки первичных данных блоком «Программа по распознаванию психоэмоционального состояния» с результатами психологических тестов. Целью стало выяснение целесообразности применения данных программ для диагностики погранично-психических состояний.

Статистический анализ проводился с использованием программ «SPSS версия 20» и «Microsoft Excel 2007». Данные представлены в виде средних арифметических значений с указанием среднеквадратичных отклонений ($M \pm s$). Использовали критерий корреляции Спирмена. Различия считались достоверными при вероятности равной и более 0,25.

Результаты

В исследовании выявлялась зависимость выраженности результатов тестов по рефлексометрии, памяти и СМЛ от выраженности значений лицевых двигательных единиц и эмоционального состояния.

Статистический анализ параметров психологической методики СМЛ и двигательных единиц на лице показал обратную корреляционную связь. Юнит AU23 отвечающая за сжатие губ коррелирует со шкалами: ипохондрия ($r = -0,366$), истерия ($r = -0,307$), психопатия ($r = -0,421$), паранойя ($r = -0,301$), психастения ($r = -0,508$) и шизофрения ($r = -0,381$). Оценочная шкала лжи (L) коррелирует с экшн юнитами AU17 подъём подбородка ($r = -0,279$) и AU20 растяжение губ ($r = -0,324$), а шка-

Таблица 1

Двигательные единицы по системе кодирования FACS, задействованные во время беседы

№	Двигательная единица	Расшифровка
1	AU01	Подъём внутренней части брови
2	AU02	Подъём верхней части брови
3	AU04	Опускание брови
4	AU05	Подъём верхнего века
5	AU06	Подъём щеки
6	AU07	Сжатие век
7	AU09	Сморщивание носа
8	AU10	Подъём верхнего века
9	AU12	Подниматель уголка губы
10	AU14	Ямочка
11	AU15	Опускания уголка губ
12	AU17	Подъём подбородка
13	AU20	Растяжение губ
14	AU23	Сжатие губ
15	AU25	Разведение губ
16	AU26	Опускание челюсти
17	AU28	Всасывание губ
18	AU45	Моргание

ла К с подъёмом верхней части брови AU02 ($r=-0,280$) и поднимателем уголка рта AU12 ($r=-0,267$). Шкала маскулинности/феминности связывается с ямочками на щеках AU14 ($r=-0,304$). Выраженность ямочек на щеке обратно пропорционально выраженности параметра маскулинности. Учитывая то, что 32 испытуемых из 36 были мужского пола, то данная математическая модель является пригодной в исследовании по выявлению связей между параметрами тестирования на функциональное состояние испытуемых и результатами программной обработки психоэмоционального состояния и выявления факторов риска.

Эмоция удивления имеет прямую связь со шкалами F ($r=0,265$) и маскулинности/феминности ($r=0,448$), а обратную связь со шкалами L ($r=-0,356$) и K ($r=-0,421$). Эмоции отвращения и страха положительно связаны с психопатией ($r=0,291$) и паранойей ($r=0,397$).

Исследование показало, что лишь малая часть двигательных лицевых единиц и параметров выраженности эмоций способна коррелировать с параметрами СМЛ.

При статистическом анализе результатов психофизиологических методик и программной обработки практически все параметры тестов по рефлексометрии и памяти коррелировали со всеми показателями эмоций и экшн юнитами.

Стабильность реакции тестирования на ПЗМР обратно коррелирует с показателями страха ($r=-0,255$), счастья ($r=-0,252$) и грусти ($r=-0,271$), но имеет положительную корреляцию с подъёмом щеки AU06 ($r=0,263$), сжатием век AU07 ($r=0,254$), подъёмом верхнего века AU10 ($r=0,281$), ямочками AU14 ($r=0,345$) и сжатием губ AU23 ($r=0,350$). Количество фальстартов напрямую связано с подъёмом внутренней части брови AU01 ($r=0,393$), поднимателем уголков губ AU12 ($r=0,400$), сжатием губ AU23 ($r=0,313$) и морганием AU45 ($r=0,322$), а само время реакции с растяжением губ имеет отрицательную связь AU20 ($r=-0,358$).

Стабильность реакции тестирования на СЗМР обратно коррелирует с показателями злости ($r=-0,260$), удивления ($r=-0,350$) и имеет прямую корреляцию с подъёмом внутренней части брови AU01 ($r=0,293$),

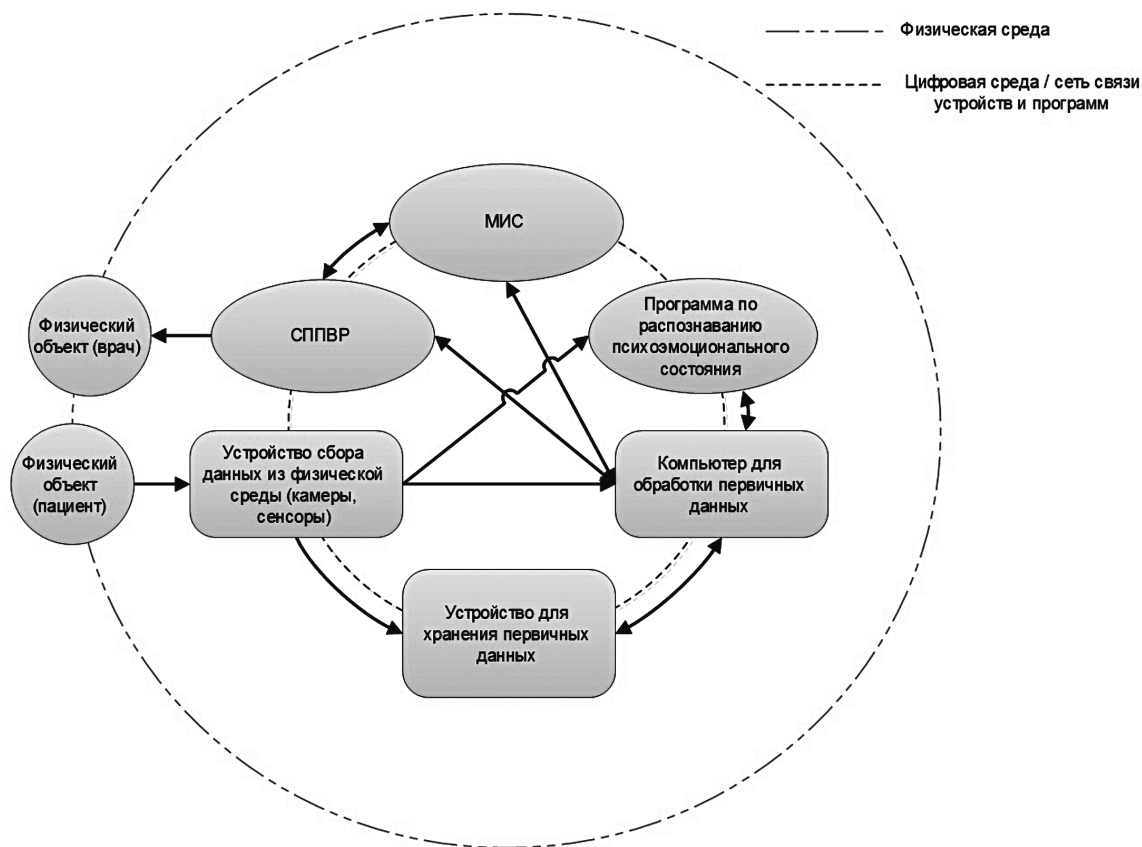


Рис. 1. Схема КФС модели для диагностики погранично-психических состояний и принятию врачебного решения.

опусканием брови AU04 ($r=0,270$), подъёмом щеки AU06 ($r=0,347$), подъёмом верхнего века AU02 ($r=0,348$) и опусканием уголков губ AU15 ($r=0,296$). Количество фальстартов коррелирует напрямую с эмоцией удивления ($r=0,388$), а время реакции обратно коррелирует со злостью ($r=-0,260$). Количество совершенных ошибок в тестировании на СЗМР обратно коррелирует с отвращением ($r=-0,259$) и страхом ($r=-0,327$), а напрямую с подъёмом щеки AU06 ($r=0,378$) и всасыванием губ AU28 ($r=0,365$).

Значение объёма опережения, и объёма запаздывания тестирования на РДО имеют лишь положительную зависимость. Объём опережения связан с поднимателем уголков губ AU12 ($r=0,338$) и показателем отвращения ($r=0,352$). Объём запаздывания связан с подъёмом щеки AU06 ($r=0,329$) и показателями злости ($r=0,349$) и страха ($r=0,255$).

Коэффициент точности тестирования на числовую память показал положительную связь с подъёмом верхней части брови AU02 ($r=0,443$), сжатием век AU07 ($r=0,274$), подъёмом подбородка AU17 ($r=0,366$), сжатием губ AU23 ($r=0,258$), показателем эмоции удивления ($r=0,387$) и отрицательную связь с подъёмом щеки AU06 ($r=-0,253$), всасыванием губ AU28 ($r=-0,329$). Объём информации имеет обратную связь с подъёмом внутренней части брови AU01 ($r=-0,301$), поднимателем уголка губ AU12 ($r=-0,257$), подъёмом подбородка AU17 ($r=-0,290$), показателями страха ($r=-0,329$) и грусти ($r=-0,281$).

Между временем выполнения заданий на пробу Мюнстерберга и двигательными единицами наблюдается следующая прямая корреляционная связь: подъёмом внутренней части брови AU01 ($r=0,331$), подъём верхней части брови AU02 ($r=0,316$), подъём верхнего века AU10 ($r=0,260$), подъём подбородка AU17 ($r=0,386$), растяжение губ AU20 ($r=0,261$), разведение губ AU25 ($r=0,283$), опускание челюсти AU26 ($r=0,425$). Выраженность показателей эмоций отвращения и удивления имеют прямую связь ($r=0,258$), ($r=0,260$) соответственно, а показатель счастья имеет самое высокое во всей выборке обратное корреляционное значение ($r=-0,641$). Данный факт указывает на то, что показатель значения счастья снижается при длительном прохождении пробы Мюнстерберга. Количество ошибок повышало страх ($r=0,302$) и положительно связывалась с морганием ($r=0,331$).

При корреляционном анализе результатов корректурной пробы и результатов программной обработки была выявлена одна обратная связь между временем выполнения и сжатием век AU07 ($r=-0,443$). Вероятно, это связано с эффектом «Социальная желательность», где респондент с углубленным сосредоточением целе-

направленно стремиться получить хорошие показатели для того, чтобы выглядеть предпочтительнее в глазах окружающих.

Возраст испытуемых напрямую коррелировал с экиш юнитами: опускание бровей AU04 ($r=0,325$), сморщивание носа AU09 ($r=0,344$), подъём верхнего века AU05 ($r=0,310$), сжатие губ AU23 ($r=0,258$) и моргание AU45 ($r=0,369$). А показатели эмоции злости связывались отрицательно ($r=-0,526$).

Несмотря на то, что в программу по распознаванию эмоций входят двигательные единицы (AU06, AU09, AU10, AU12, AU14) формирующие эмоцию презрения, распознавание самой этой эмоции не заложено в программу. Она не захватывает ещё ряд двигательных единиц из системы FACS: AU11 (углубление носогубной впадины), AU27 (открытие рта), AU38 (расширение ноздрей), AU43 (закрывание глаз). Эти двигательные единицы также участвуют при формировании таких эмоций как: счастье, печаль, отвращение и гнев. Возможно данный программный недостаток влияет на качество корреляционного анализа. По нашему мнению в настоящее время высокоточных программ по распознаванию психоэмоционального состояния, способных улавливать все мимические двигательные единицы на лице практически не существует.

Таким образом выявленная чёткая корреляционная связь параметров клинических психологических тестов и двигательных лицевых единиц с показателями эмоций даёт возможность внедрения данной методики в нашу киберфизическую модель для диагностики пациентов на наличие факторов риска пограничных и отклоняющих психических состояний.

На втором этапе исследования предполагается дифференцировать двигательные единицы на лице с конкретными погранично-психическими заболеваниями, интегрировать СППВР в предложенную нами модель КФС, довести до автоматизации процесс работы всех элементов этой модели.

Выводы

1. Современные КФС – технологии IoT и СППВР – могут быть востребованы в цифровой медицине для диагностики факторов риска пограничных психических состояний, помощи в принятии врачебного решения при дифференциации этих состояний, а также подбору соответствующих методов психокоррекции;

2. Апробация программы по распознаванию психоэмоционального состояния может быть включена в модель КФС. При качественном сравнении результатов программной обработки с данными клинических психологических тестов – СМИЛ, рефлексометрии и па-

мента на числа — выявлена четкая корреляция восемнадцати двигательных единиц лица по системе FACS и шести показателей эмоций со шкалами и параметрами психологических тестов у 36 пациентов со средним возрастом $26,4 \pm 5,3$ года. Диапазон полученных корреляций варьируется от $r=0,252$ до $r=0,641$. Результаты позволяют использовать данную методику в нашей модели КФС для диагностики факторов риска на наличие пограничных психических состояний.

Список литературы

1. Ястреб Н.А. Индустрия 4.0: киберфизические системы и интернет вещей. Человек в технической среде. Сборник научных статей. Выпуск 2. Под ред. доц. Н.А. Ястреб. Вологда: ВоГУ, 2015: 136-141.
2. Lee E. A. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*. 2015; 15: 4837-4869. DOI:10.3390/s150304837.
3. Zegzhda D.P. Sustainability as a criterion for information security in cyberphysical systems. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2016; 8: 813-819.
4. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. Second Edition. MIT Press. 2017.
5. Зегжда Д.П. Оценка и обеспечение устойчивости управления киберфизическими системами в условиях компьютерных атак XIII всероссийское совещание по проблемам управления Москва: ВСПУ. 2019.
6. Seiger R., Huber S., Heisig P., Assmann U. Enabling self-adaptive workflows for cyber-physical systems. *Lecture Notes in Business Information Processing*. 2016; 248: 3-17.
7. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions. *European Journal of Technology and Design*. 2014; 5(3): 147-152.
8. Zegzhda D. P., Pavlenko E. Yu. Cyber-physical system homeostatic security management. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2017; 51: 805–816. DOI:10.3103/S0146411617080260.
9. Dey N., Ashour A.S., Shi F., Fong S.J. Medical cyber-physical systems: A survey. *J Med Syst*. 2018; 42(4): 74. DOI: 10.1007/s10916-018-0921-x.
10. Куприяновский В.П., Намнот Е.Д., Синягов С.А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(2): 18-25.
11. Khaitan S. K. McCalley J.D. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey. *IEEE Systems Journal*. 2015; 9(2): 350-365.
12. Hanis T., Smith A., Senegal J., Greenlee K. Building a smarter medical device monitoring solution. *Smarter Planet solutions with sensor monitoring*. Part 3. 2010: 1-19.
13. Banerjee A, Gupta S. K. S., Fainekos G., Varsamopoulos G. Towards modeling and analysis of cyber-physical medical systems. *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 11)*. 2011; 154: 1-5.
14. Yu V.L., Fagan L.M., Wraith S.M., et al. Antimicrobial selection by a computer. A blinded evaluation by infectious diseases experts. *JAMA*. 1979; 242(2): 1279-1282. DOI:10.1001/jama.1979.03300120033020.
15. Стародубцев А.А. Система поддержки принятия решений. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016; 12: 99-101.
16. Колесникова А.С., Федонников А.С., Кириллова И.В., и др. Возможности систем поддержки принятия решений в контексте хирургии позвоночно-тазового комплекса (аналитический обзор). 2019; 25(2): 243-253. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-2-243-253.
17. Greenes R.A. Clinical Decision Support: The Road Ahead. 1st Edition. 2007: 599.
18. Зарипова Г.Р., Богданова Ю.А., Катаев В.А., Ханов В.О. Современные модели экспертных систем поддержки принятия врачебных решений в прогнозировании операционного риска в хирургической практике. *Таврический медико-биологический вестник*. 2016; 19(4): 140-145.
19. Digital health tech vision. 2019. https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-102/Accenture-Digital-Health-Tech-Vision-2019.pdf#zoom=50.
20. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. Интернет вещей. под ред. А.В. Рослякова. Самара: ПГУ-ТИ, ООО «Издательство Ас Гард»; 2014. 340.
21. McEwen A., Cassimally H., Designing the Internet of Things. Wiley. 2014: 324.
22. 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. *Smarter With Gartner*. 2018. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
23. Manyika J., Chui M., Bisson P. et al The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute. 2015. https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx.
24. Проект тринадцатой общей программы работы на 2019–2023 гг. Всемирная организация здравоохранения. 2018: 66. <https://firstlinesoftware.ru/news/6-glavnyh-trendov-cifrovoj-mediciny-2019/>.
25. Шесть главных трендов цифровой медицины 2019. First Line Software. 2019. <https://firstlinesoftware.ru/news/6-glavnyhtrendov-cifrovoj-mediciny-2019/>.
26. Цифровая экономика Российской Федерации. Правительство российской федерации. 2017. <http://www.tadviser.ru/images/a/af/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>
27. Zanni A. Cyber-physical systems and smart cities. IBM Developer. 2015. <https://developer.ibm.com/articles/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/>
28. Ekman P., Friesen W. Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1978.
29. Собчик Л. Н. Стандартизированный многофакторный метод исследования личности СМЛ (ММРП). Практическое руководство. М.: Речь. 2007: 224.

References

1. Yastreb N.A. Industry 4.0: Cyberphysical Systems and Internet Things. A man in the technical environment. Collection of scientific articles. Issue 2. Under the editorship of the doc. N.A. Yastreb. Vologda: VSU, 2015: 136-141. (In Russ.)
2. Lee E. A. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*. 2015; 15: 4837-4869. DOI:10.3390/s150304837
3. Zegzhda D.P. Sustainability as a criterion for information security in cyberphysical systems. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2016; 8: 813-819.
4. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. Second Edition. MIT Press. 2017.
5. Zegzhda D.P. Estimation and maintenance of stability of management of cyberphysical systems in the conditions of computer attacks XIII All-Russian meeting on management problems Moscow: VSPU. 2019. (In Russ.)

6. Seiger R., Huber S., Heisig P., Assmann U. Enabling self-adaptive workflows for cyber-physical systems. *Lecture Notes in Business Information Processing*. 2016; 248: 3-17.
7. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions. *European Journal of Technology and Design*. 2014; 5(3): 147-152.
8. Zegzhda D. P., Pavlenko E. Yu. Cyber-physical system homeostatic security management. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2017; 51: 805-816. DOI:10.3103/S0146411617080260
9. Dey N., Ashour A.S., Shi F., Fong S.J. Medical cyber-physical systems: A survey. *J Med Syst*. 2018; 42(4): 74. DOI: 10.1007/s10916-018-0921-x
10. Kupriyanovsky V.P., Namnot E.D., Sinyagov S.A. Cyber-physical systems as a basis of digital economy. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(2): 18-25. (In Russ.)
11. Khaitan S. K. McCalley J.D. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey. *IEEE Systems Journal*. 2015; 9(2): 350-365.
12. Hanis T., Smith A., Senegal J., Greenlee K. Building a smarter medical device monitoring solution. *Smarter Planet solutions with sensor monitoring*. Part 3. 2010: 1-19.
13. Banerjee A, Gupta S. K. S., Fainekos G., Varsamopoulos G. Towards modeling and analysis of cyber-physical medical systems. *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 11)*. 2011; 154: 1-5.
14. Yu V.L., Fagan L.M., Wraith S.M., et al. Antimicrobial selection by a computer. A blinded evaluation by infectious diseases experts. *JAMA*. 1979; 242(2): 1279-1282. DOI:10.1001/jama.1979.03300120033020.
15. Starodubtsev A.A. Decision support system. *Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2016; 12: 99-101. (In Russ.)
16. Kolesnikova A. S., Fedonnikov A.S., Kirillova I. V. et al. The possibilities with decision support systems in surgery of spine-pelvic complex (analytical review). *Orthopedics genius*. 2019; 25(2): 243-253. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-2-243-253. (In Russ.)
17. Greenes R.A. *Clinical Decision Support: The Road Ahead*. 1st Edition. 2007: 599.
18. Zaripova, G.R., Bogdanova, Yu.A., Kataev, V.A., Khanov, V.O. Modern models of the expert systems of support of medical decision-making in forecasting of the operational risk in surgical practice. *Tauride Medical and Biological Bulletin*. 2016; 19(4): 140-145. (In Russ.)
19. Digital health tech vision. 2019. https://www.accenture.com/_acn-media/PDF-102/Accenture-Digital-Health-Tech-Vision-2019.pdf#zoom=50.
20. A.V.Roslyakov, S.V.Vanyashin, A.Yu. Grebeshkov, M.Yu. Samara: PSUTI, LLC «Publishing House As Gard»; 2014. 340. (In Russ.)
21. McEwen A., Cassimally H., *Designing the Internet of Things*. Wiley. 2014: 324.
22. 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. *Smarter With Gartner*. 2018. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>.
23. Manyika J., Chui M., Bisson P. at al *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype* McKinsey Global Institute. 2015. https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx.
24. Draft thirteenth general programme of work for 2019-2023 (35 C/5) World Health Organization. 2018: 66. <https://firstlinesoftware.ru/news/6-glavnyh-trendov-cifrovoj-mediciny-2019/>. (In Russ.)
25. Six major trends in digital medicine 2019. *First Line Software*. 2019. <https://firstlinesoftware.ru/news/6-glavnyhtrendov-cifrovoj-mediciny-2019/> (In Russ.)
26. Digital economy of the Russian Federation. Government of the Russian Federation. 2017. <http://www.tadviser.ru/images/a/af/9gFM-4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. (In Russ.)
27. Zanni A. Cyber-physical systems and smart cities. IBM Developer. 2015. <https://developer.ibm.com/articles/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/>.
28. Ekman P., Friesen W. *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1978.
29. Sobchik L.N. Standardized multifactorial method of MMPI personality study. *Practical Guide*. M.: Speech. 2007: 224. (In Russ.)