

Г.А. Тюлепбердинова¹ , М.М. Кунелбаев² , Г.А. Амирханова¹ ,
Ж.О. Оралбекова³ , М.Г. Жартыбаева³ 

¹Әл-Фараби атындағы қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Ақпараттық және Есептеу Технологиялары институты, Алматы қ., Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан

*e-mail: tyulepberdinova@gmail.com

СТУДЕНТТЕРДІҢ СТРЕСС ЖАҒДАЙЛАРЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР МЕН ПАТЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕРГЕ ШОЛУ

Аңдатпа

Заттар интернеті (IoT) интернет эволюциясының жаңа парадигмасы мен келесі сатысын білдіретін өзара байланысты құрылғылардың өзара әрекеттесуінің негізгі платформасына айналды. Оның маңыздылығы әсіресе денсаулық сақтауда байқалады, мұнда IoT медициналық қызметтерді бақылау сияқты тапсырмаларда қолданылады. Бірнеше құрылғыларда жиналатын мәліметтердің көмегімен талдау жүргізу арқылы кейбір аурулардың дамуын бақылауға болады. Заманауи тиімді бағыттардың бірі, ол киілетін сенсорлар және IoT технологиялары арқылы стрессті бақылау. Бұл адамның әлауқатын айтарлықтай жақсартып, денсаулықты алдын ала басқаруды жетілдіреді. Медициналық мамандар ауруларды үнемді бақылау үшін аккумуляторлық киілетін құрылғылар мен сымсыз байланыс жүйелерін пайдалана отырып, сенімді жүйелерді қолдануда. Үйде және адам денесінде орналасқан желіге қосылған сенсорлар көмегімен емделушінің денсаулық жағдайын бағалау үшін қажетті маңызды мәліметтерді жинайды. Машиналық оқыту әдістерінің және озық технологиялардың интеграциясы негізінде стресс деңгейіне байланысты мәселелерді зерттеуге және шешуге үлкен қызығушылық туғызуда. Адамның физиологиялық көрсеткіштеріне психологиялық стресс елеулі әсер етіп, жағымсыз салдарға нәтижеге жақындауы мүмкін, кей кезде қымбат емдеу қажет болады. Стресстің өткір деңгейі, әсіресе шекаралық тұлғалық бұзылуы немесе шизофрения диагнозы қойылған адамдар үшін, өмірге қауіп төндіруі мүмкін. Бұл мақалада денсаулық сақтаудағы киілетін IoT құрылғыларына қатысты әдебиеттерге жүйелі шолу жасалған. Шолу жарияланымдарды тиісті кілт сөздер бойынша іздеуден және оларды өзектілігі мен жарияланған күніне қарай реттеуден басталады. Мақалада ауруларды анықтау, бақылау және емдеуге арналған киілетін құрылғыларды қолдану және олардың архитектурасы талқыланған. Сонымен қатар, болашақ зерттеулердің келешегі айқындалған.

Түйін сөздер: денсаулық сақтау, IoT - қа негізделген, заттар интернеті, сенсор, стресс (күйзеліс).

Г.А. Тюлепбердинова¹, М.М. Кунелбаев², Г.А. Амирханова¹,
Ж.О. Оралбекова³, М.Г. Жартыбаева³

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

²Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан,

³Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО КОНТРОЛЮ СТРЕССА У СТУДЕНТОВ

Аннотация

Интернет вещей (IoT) превратился в ключевую платформу для взаимодействия подключённых устройств, открывая новую парадигму и представляя следующий шаг в развитии IoT. Его значимость особенно очевидна в сфере здравоохранения, где IoT активно применяется для таких задач, как контроль медицинских услуг. Анализируя данные, собранные с разных устройств, можно предсказать прогрессирование определенных заболеваний. Одна из многообещающих областей-контроль стресса с помощью носимых датчиков и IoT, которые значительно повышают уровень благополучия и улучшают профилактическое Управление здоровьем. Медицинские работники используют надежные системы, которые включают носимые устройства и беспроводные каналы связи в батареях, для экономичного мониторинга состояния здоровья при различных заболеваниях. Подключенные к сети датчики,

размещенные как дома, так и на теле человека, собирают важные данные, необходимые для оценки здоровья пациентов. Интеграция машинного обучения и передовых технологий вызвала большой интерес к изучению и решению проблем, связанных с уровнем стресса. Психологический стресс значительно влияет на физиологические показатели человека и может вызвать негативные последствия, которые порой требуют дорогостоящего лечения. Острая форма стресса может представлять угрозу для жизни, особенно у людей с диагнозами пограничного расстройства личности или шизофрении. В этой статье представлен систематический обзор литературы по носимым устройствам IoT в здравоохранении. Обзор начинается с поиска публикаций по заданным ключевым словам и упорядочивания их по актуальности и дате публикации. В статье обсуждается использование носимых устройств для решения проблем со здоровьем, таких как выявление, контроль и лечение заболеваний, и описывается их архитектура. Кроме того, показаны перспективные направления будущих исследований.

Ключевые слова: здравоохранение, основанный на IOT, интернет вещей, сенсор, стресс.

G A. Tyulepberdinova¹, M.M. Kunelbayev², G.A. Amirkhanova¹,
Zh.O. Oralbekova³, M.G. Zhartybayeva³

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

²Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,

³L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

REVIEW OF LITERATURE AND PATENT RESEARCH ON STUDENT STRESS CONTROL

Abstract

The Internet of Things (IoT) has become the main platform for the interaction of interconnected devices, representing a new paradigm and the next step in the course of becoming internet. Its importance is especially noticeable in health care, where the IoT monitors medical services. By analyzing the data collected from different devices, it is possible to predict the development of certain diseases. One of the leading promising sectors is stress control through wearable sensors and IoT, which significantly increases well-being and improves preventive health management. Medical professionals are already using reliable systems that include wearable devices on batteries and wireless communication channels to economically monitor the state of health in various diseases. Sensors connected to the network, deployed both at home and in the human body, collect important data necessary to assess the health of patients. The integration of machine learning and advanced technologies has aroused great interest in the study and solution of problems related to stress levels. Psychological stress significantly affects the physiological parameters of a person and can lead to negative consequences, sometimes requiring expensive treatment. Acute levels of stress can be life-threatening, especially for people diagnosed with borderline personality disorder or schizophrenia. This article provides a systematic review of the literature on Wearable IoT devices in healthcare. The review begins with a search for publications by given keywords and ordering them by relevance and publication date. The article discusses the use of wearable devices to address health problems such as disease detection, control, and treatment, and describes their architecture. In addition, promising areas of future research are outlined.

Keywords: health care, IOT-based, Internet of Things, sensor, stress.

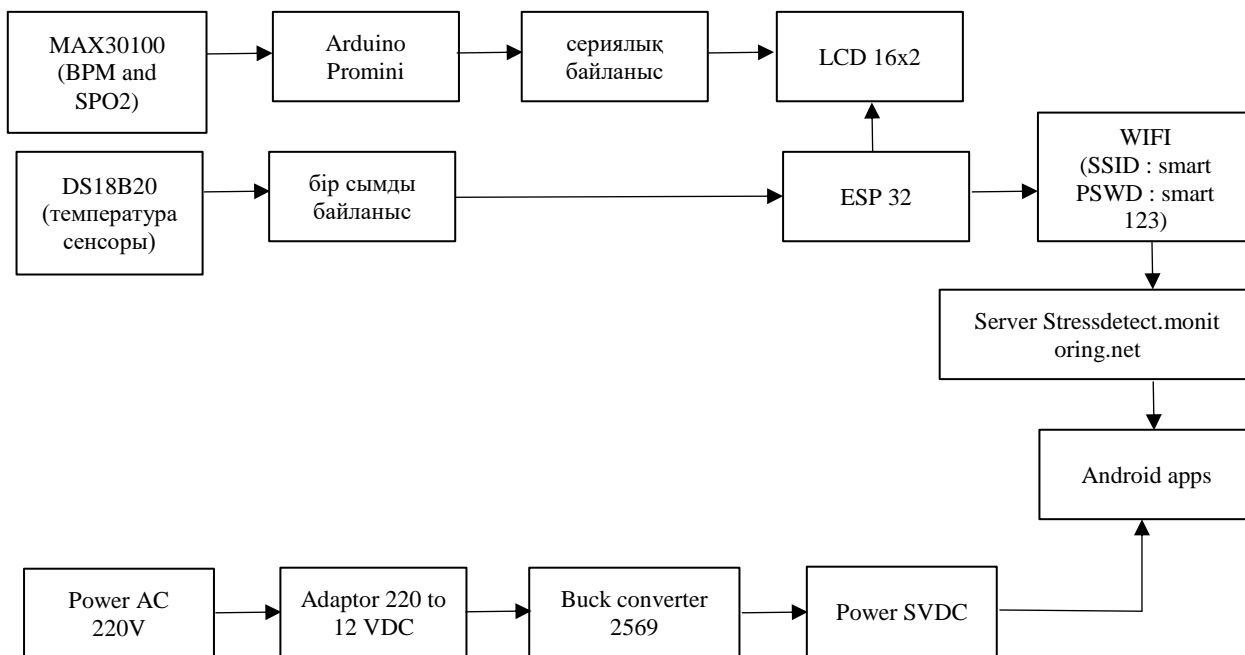
Негізгі ережелер

Бұл зерттеу жұмысында интернет заттары (IoT) және киілетін құрылғылар стресс пен денсаулықты нақты уақыт режимінде бақылау үшін белсенді қолдану қарастырылады. Қызық көрсеткіштері әдісі т.б. сияқты машиналық оқыту әдістерін қолдану физиологиялық деректерге негізделген стрессті анықтауда жоғары дәлдікті көрсетеді. Стрессті бақылау үшін қолданылатын деректер жиынтығында деректер тапшылығы және проблемалық таңбалау әдістері нәтижелерді жалпылауды шектейді. IoT негізіндегі стрессті бақылау жүйелерін әзірлеу және бұлттық дерекқорлармен біріктіру күнделікті жағдайларда физиологиялық көрсеткіштерді тиімді талдауға және бақылауға мүмкіндік беретініне көз жеткізуге болады.

Кіріспе

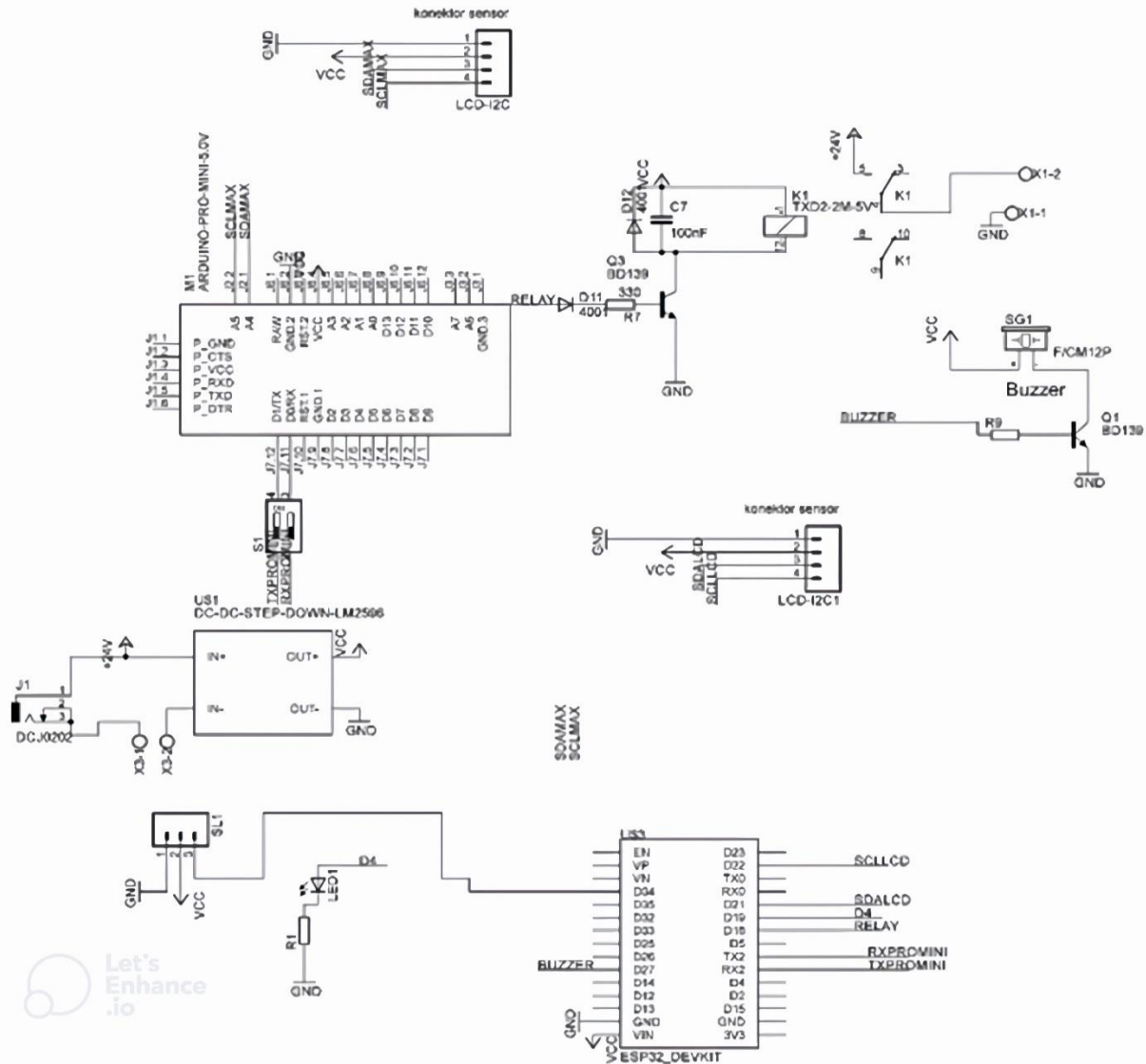
Зерттеуде [1] киілетін сенсорлар мен машиналық оқытуды қолдана отырып, өзекті зерттеулер мен стрессті анықтау әдістерін қарастырды. Қазіргі қоғамда стресстік бұзылулардың көбеюін ескере отырып, стрессті анықтау және бақылау денсаулық сақтау саласының басты міндеттерінің бірі болды. Заманауи зерттеулер мен технологиялар стрессті нақты уақытта және күнделікті өмірде анықтау үшін киілетін құрылғылар мен машиналық оқыту әдістерін қолдануға мүмкіндік береді. Бұл мақалада киілетін сенсорлар мен машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, стрессті бақылауға арналған негізгі зерттеулер, әдістер және технологиялар жүйеленген. Зерттеу [2] нақты әлем жағдайларында стрессті анықтау үшін киілетін сенсорлар негізінде машиналық оқыту әдісін ұсынады. Зерттеуде электрокардиография (ЭКГ), тері температурасы (ST) және тері өткізгіштігі (SC) деректері қолданылған. Төрт машиналық оқыту моделін (K-жақын көршілер (KNN), тірек векторларының классификациясы (SVC), шешім ағашы (DT) және кездейсоқ орман (RF)) тексеру барысында, ең жоғары дәлдік көрсеткішін KNN моделі беріп, 98% құрады. Авторлар сонымен қатар тамақтану әсері мен дене қалпын өлшеу нәтижелерін де зерттеген. Деректер стресстің екілік жіктелуі мен SMOTE (синтетикалық азшылықты шамадан тыс іріктеу әдісі) интеграциясы стрессті анықтау әдістерін жетілдіруге жаңа мүмкіндіктер ашатынын көрсетеді. Шолу [3] Empratica E4 құрылғыларымен алынған стрессті бақылауға арналған қолданыстағы мәліметтер жиынтығына бағытталған. Шолу деректер жиынтығының көпшілігінде уақыттық шектеулер мен таңбалау әдістері бар екенін көрсетеді, бұл олардың көрінбейтін деректерге жалпылау қабілетін шектеуі мүмкін. Сондай-ақ модельдердің таңбалау хаттамалары мен статистикалық тиімділігінің кемшіліктері де талқыланады.

Мақалада [3] физиологиялық сигналдар мен IoT-қа негізделген нақты уақыттағы стрессті бақылау жүйесі ұсынылды. Жүйе жүрек соғу жиілігі мен температура сенсорларын қамтиды және деректер Firebase бұлттық дерекқоры арқылы мобильді қолданбаға жіберіледі. Нәтижелер жүйенің стресс жайлы деректерін тиімді көрсете отырып талдай алатынын дәлелдеді. Бұл төмендегі 1-суретте физиологиялық сигналдар мен IoT-қа негізделген нақты уақыттағы стрессті бақылау жүйесі көрсетілген.



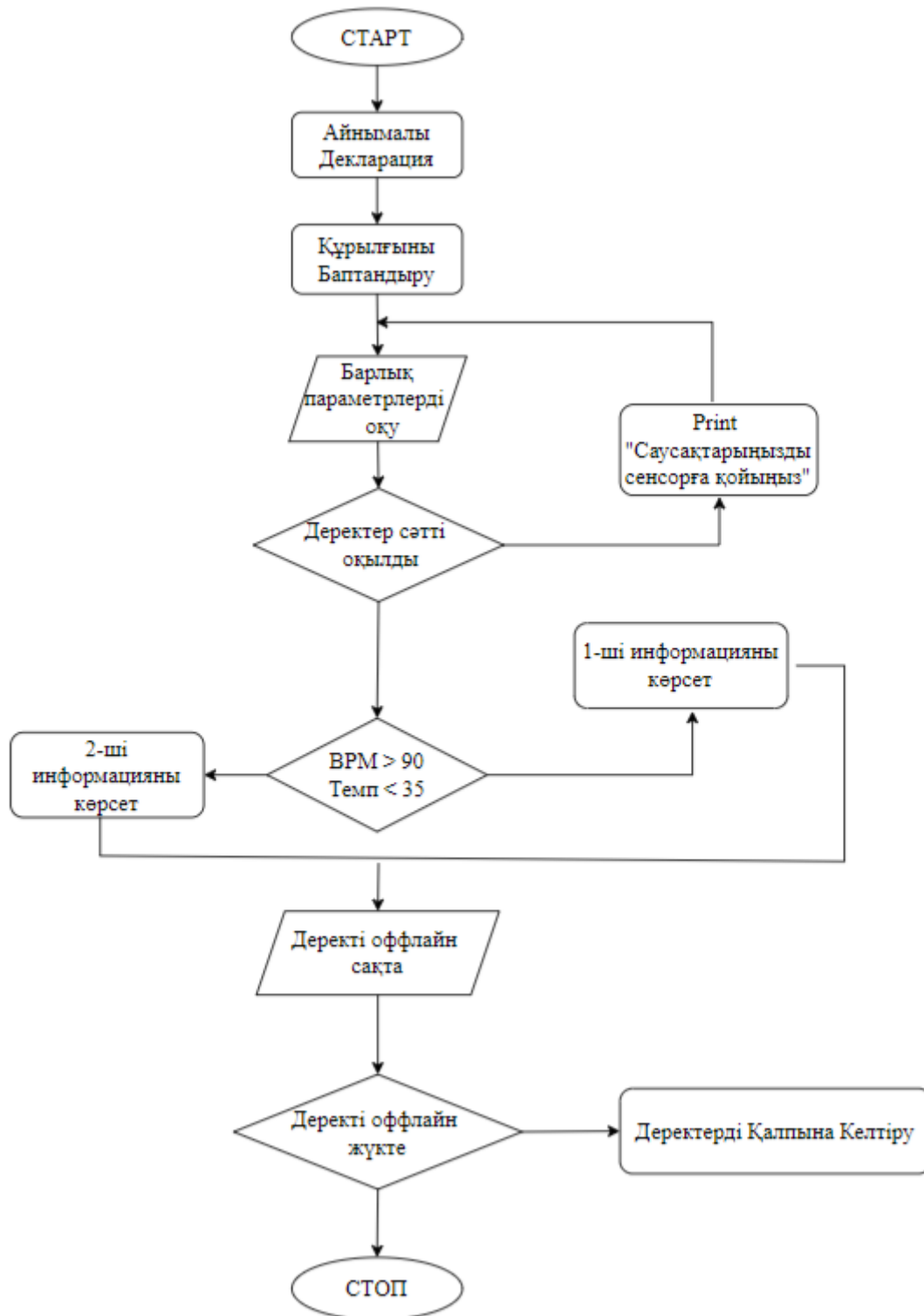
Сурет 1. Физиологиялық сигналдар мен IoT технологиясына негізделген нақты уақыттағы стресс мониторингі жүйесі

Бұл 1-суретте көрсетілген жүйеде 220 В айнымалы ток көзі жүйені қуаттандырады және оны төмендететін трансформатор адаптері арқылы 5 В тұрақты токқа айналдырады. DS18B20 және MAX30100 Arduino Pro mini-дегі А4 және А5 түйреуіштеріне қосылған. Ақпарат бұлтты дерекқорға ESP32 арқылы жіберіледі. Төмендегі 2-суретте физиологиялық сигналдар мен IoT-қа негізделген нақты уақыттағы стрессті бақылауға арналған схема көрсетілген.



Сурет 2. Физиологиялық сигналдар мен IoT негізіндегі нақты уақыттағы стрессті бақылаудың схемасы

Жүйе Google әзірлеген NoSQL дерекқоры SPARK типті Firebase көмегімен жасалған және оны тегін пайдалануға болады. Бұл бағдарлама барлық өлшенген параметрлердің мәндерін бақылайды. Ол осы параметрлерге негізделген есептеу нәтижелері мен стресс туралы ақпаратты көрсетеді. Қолданба Android Studio көмегімен жасалған. Деректер температураны Цельсий бойынша, жүрек соғу жиілігін минутына, SPO2 деңгейін, стресс және қалыпты ақпараттық жағдайларды көрсетті. Бұл жүйеде микробағдарлама Arduino IDE арқылы жасалған және Arduino Pro mini-ге жүктелген бағдарлама ретінде әрекет етеді. Микробағдарлама кернеу жүйесінің анықтау мүмкіндігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Төмендегі 3-суретте физиологиялық сигналдар мен IoT технологиясын пайдалана отырып, нақты уақыттағы стресс мониторинг жүйесінің блок-схемасы берілген.

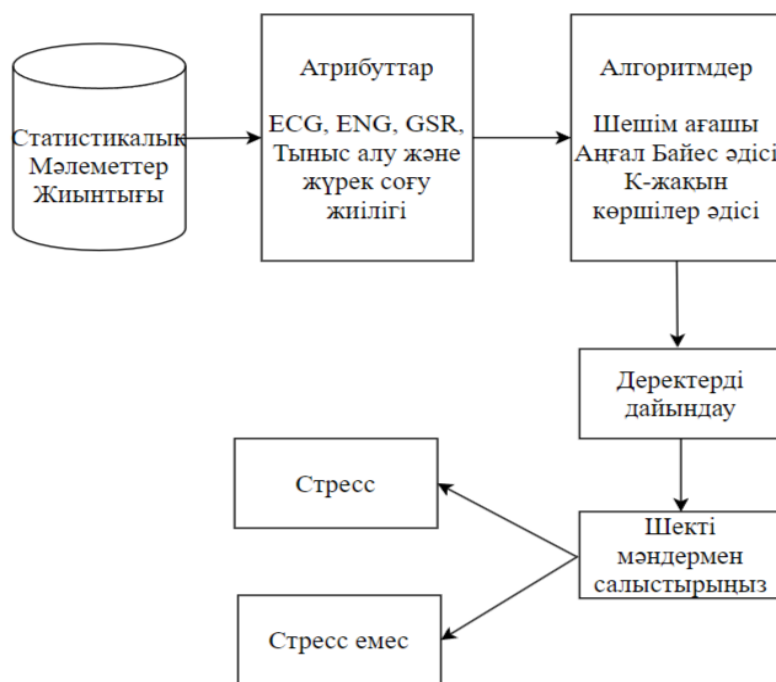


Сурет 3. Физиологиялық сигналдар мен IoT негізіндегі нақты уақыт режимінде стресс мониторингін жүргізуге арналған блок-схем

Бұл 3-суреттегі схема сенсорларды, бағдарламалық жасақтама және құрылғылар арасындағы байланысты, экспериментке қатысушының орнатылған сенсорлармен фотосуретін, нәтижелері бар кестені және физиологиялық көрсеткіштерді көрсететін мобильді құрылғыдан скриншоттарды қамтиды. Мақалада [4] машиналық оқытудың әртүрлі әдістері, соның ішінде шешім ағашы, аңғал Байес әдісі және К-жақын көршілер әдісі талқыланады.

Зерттеу статистика мен алгоритмдерді қолдану стресс деңгейін болжау дәлдігін арттыруға көмектесетінін көрсетті.

4-суретте шешім ағашы, аңғал Байес алгоритмі және К-жақын көршілер әдісі бар машиналық оқыту алгоритмі көрсетілген. Авторлар осы модельді пайдалана отырып, жүйенің жұмысын, оның ішінде белгісіздік матрицасы мен блок-схема құрылысын егжей-тегжейлі сипаттайды.



Сурет 4. Машиналық оқыту алгоритмі, соның ішінде шешім ағашы, аңғал Байес әдісі және К-жақын көршілер әдісі

Бұдан кейін шешім ағашының жалпы схемалары мен К-жақын көршілер әдісін қолдану туралы толық ақпарат беріледі. Зерттеуде сезімталдық пен дәлдік сияқты параметрлер, сондай-ақ нәтижелерді болжауға арналған диффузиялық диаграмма мен есептеу үшін пайдаланылатын бағдарламаның интерфейсінің скриншоттары ұсынылған. Ұсынылған жүйе адамдардағы стресс жағдайларын болжауға бағытталған, бұл алдын алу шараларын қолдану арқылы қоғамға стрессті тиімді басқаруға көмектеседі. Статистика, электрокардиограмма, электромиография, терінің гальваникалық реакциясы, жүрек соғу жиілігі және тыныс алу сияқты әртүрлі биологиялық параметрлер қолданылды. Таңдалған алгоритмдердің көмегімен стресстің бар-жоғын анықтау үшін деректер оқу және тестілік үлгілерге бөлініп, белгіленген шектермен салыстырылды. Зерттеу аясында [5] күнделікті жағдайда стрессті бақылау үшін киілетін сенсорлар пайдаланылды. Жүйе смарт сағат арқылы жүрек соғу жиілігі мен оның өзгергіштігі туралы мәліметтер жинайды. Нәтижелер екілік стресс детекторын практикалық қолдану үшін жеткілікті дәл деп көрсетеді.

Бұл көрсетілген 5-суретте күнделікті өмірдегі стрессті бақылау жүйесін көрсетеді. Зерттеу 1-ден 3 айға дейінгі кезеңдерде өзін-өзі бағалау сауалнамаларын қолдана отырып, 14 қатысушының стресс деңгейлерін құжаттады, сонымен қатар машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, жүрек соғу жиілігі мен жүрек соғу жиілігінің өзгергіштігі негізінде стрессті екілік анықтау жүргізілді.



Сурет 5. Күнделікті жағдайда стрессті бақылауға арналған жүйесі

Зерттеуге арналған деректер күнделікті өмірдің қиын жағдайларында жиналды. Өзірленген екілік стресс детекторы 76% макро-F1 ұпайымен стресстік яғни күйзеліс жағдайларын анықтайтын өте жоғары дәлдікті көрсетті. Деректерді жинау үшін Ecological Momentary Assessment (EMA) арнайы сауалнамасы пайдаланылды. Күнделікті жағдайда тек фотоплетизмографиялық сигналдарды қолдану арқылы стрессті анықтау қиын міндет болып табылады. Біздің модельдердің дәлдігін бағалау үшін K-Fold кросс-тексеру жүргізілді (K = 5). Жиналған деректер жиынындағы әрбір әдістің тиімділігі Macro-F1 K-фолдының орташа мәні мен стандартты ауытқуы арқылы бағаланды, деректер II Кестеде көрсетілген. Эксперимент нәтижелері бойынша, кездейсоқ орман әдісі (RF) бір әдісті қоспағанда, көп жағдайда басқа әдістермен салыстырғанда жоғары көрсеткіштерге ие болды. Төмендегі 6-суретте стрессті анықтау үшін орташа мәндері көрсетілген. PPG мүмкіндіктері негізіндегі стрессті анықтау үшін 5 Кросс-Валидация үшін F1 балдың орташа мәні (\pm стандарттық алу) келесідей болмақ.

Екілік Сыныптар	Үлгілер саны	5 Кросс-Валидация үшін F1 балдың орташа мәні				
		MLP	SVM	kNN	RF	XGBoost
аздап	(1) VS негізгі сызық (0): (605, 143)	0.73 \pm 0.06	0.66 \pm 0.03	0.72 \pm 0.03	0.67 \pm 0.04	0.72 \pm 0.04
аз	(1) VS негізгі сызық (0): (299, 143)	0.70 \pm 0.03	0.69 \pm 0.04	0.66 \pm 0.66	0.71 \pm 0.05	0.7 \pm 0.04
көп немесе өте көп	(1) VS негізгі сызық (0): (72, 143)	0.68 \pm 0.06	0.69 \pm 0.13	0.69 \pm 0.04	0.76 \pm 0.05	0.73 \pm 0.09
аз, көп немесе өте көп	(1) VS негізгі сызық (0): (748, 371)	0.62 \pm 0.04	0.6 \pm 0.04	0.59 \pm 0.03	0.63 \pm 0.02	0.63 \pm 0.04

Сурет 6. Стрессті анықтау үшін орташа мәндер

Зерттеу әдіснамасы

Мақала [6] киілетін сенсорларды қолдана отырып, стрессті анықтау әдістеріне шолу жасалған. Ол автономды жүйке жүйесін де, гипоталамус-гипофиз-бүйрек үсті осін де қамтитын әртүрлі технологиялар мен стратегияларды қарастырады. Сонымен қатар, шолуда қолданылатын киілетін құрылғылар мен деректерді талдау әдістерінің сипаттамасы 1-ші кестеде берілген.

Кесте 1. Автономды жүйке жүйесі және гипоталамус-гипофиз-бүйрек үсті осі көмегімен стрессті өлшеу әдістері

Құрылғы	Сипаттамасы	Денеді орналасуы	Өлшемдері	Қолданыс түрі
AutoSense [354]	AutoSense – бұл қауіпсіз тәуелді заттарға және психоәлеуметтік стреске жеке әсер етуді үздіксіз бағалауға арналған сымсыз сенсор жүйесі	Кеуде белдігі	ЭКГ, ГСР, тыныс алу индуктивті плетисмографиясы, тері температурасы	Зерттеулерде, академиялық тұрғыда
Biobeat (сағат және патч) [355]	Үздіксіз өмірлік маңызды белгілерді бақылау	Білек және кеуде	HR, HRV, ЭКГ, тері температурасы	Медицина
Caretaker Medical + ETCO2 [356]	Сымсыз емделушілерді бақылау платформасы қосылады	Саусаққа арналған	Карбон диоксиді, қан қысымы, жүрек соғысы	Медицина
Dexcom G6 & G7 [357]	Үздіксіз глюкоза мониторингі	Білектің артқы жағына немесе бөкседеден жоғары	Глюкоза	Медицина
E4 Empatica EmbracePlus [358]	Үздіксіз мониторинг жасауға арналған смартсағат	Білек (сағат)	EDA, HR – HRV – HRV – IBI, тері температурасы, гироскоп	Медицина
EMOTIV EPOC X6, insight, MN8 гарнитуралары [359]	Адам миын контекстік зерттеу	Құлаққап - гарнитура	14-канал, ЭКГ, 5-канал және 2-канал, барлық ми сезгіштері	Зерттеулерде, жеке

Адам стресін анықтауға бағытталған мультимодальдық зерттеудің қорытындысы (киілетін құрылғыармен және оларсыз).

Бұл 2-кестеде, алдындағы 1-кестеде көрсетілгендей Автономды жүйке жүйесі (АЖЖ) және гипоталамус-гипофиз-бүйрек үсті осі (ГГБ) арқылы стрессті өлшеу әдістері көрсетілген. Бұл тәсілдер теориялық және ықтимал стресс пен жалған стрессті анықтау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Деректерді талдау үшін ЖИ пайдалану талдау нәтижелерін белгілі бір шегіне дейін жақсартатын үлкен көлемдегі ақпаратты енгізуді қамтиды. Бірнеше датчиктерден жиналған ақпараттардың молдығына қарамастан, киілетін техниканы пайдалану арқылы ГГБ және басқа физиологиялық параметрлермен байланысты зерттеулердің жетіспеушілігі байқалады. Мақалада аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету деңгейінде әртүрлі сценарийлер мен әдістердің комбинациясы қарастырылады, бұл тәсіл практикалық тұрғыдан тиімді әрі үнемді болса, осы тақырыпты зерттеуге кеңірек әрі әртүрлі көзқарастарды тартуға шақырады. Зерттеуде [7] кеуде және білек датчиктерінен жиналған физиологиялық деректерді талдау үшін терең оқыту әдістері ұсынылған. Бір өлшемді конволюциялық нейрондық желілер мен көп қабатты перцептрондарды қолдану стреске қатысты күйлердің екілік және көп класты жіктелуінде жоғары дәлдікке қол жеткізді.

Кесте 2. Автономды жүйке жүйесі және гипоталамус-гипофиз-бүйрек үсті осі көмегімен стрессті өлшеу әдістері және стресс типтері мен шарттары

Әдістер	Стресс типі	Шарттары	Классификациясы	Дәлдігі
(Al-Shargie et al., 2016)	Acute	EEG, fNIRS	SVM	95.10%
(Kyriakou et al., 2019)	Acute	GSR, ST	-	84.00%
(Can et al., 2019b)	Acute	HR, GSR, Acc	MLP	92.15%
(Lee et al., 2016)	Acute	Acc, Gyro, Mag	SVM	95.00%
(Chen et al., 2017)	Acute	ECG, GSR, RR	SVM	99.00%
(Ghaderi et al., 2015)	Acute	RR, GSR, HR, EMG	SVM, kNN	98.00%
(Gjoreski et al., 2016)	Acute	BVP, HR, ST, GSR and RR	RF	92.00%
(Sano and Picard, 2013)	Acute	SC, Acc	SVM, kNN	75.00%
(Hovsepian et al., 2015)	Chronic	RR, ECG, Acc	SVM	95.30%
(Zubair et al., 2015)	Acute	EDA, Acc, Bluetooth	LR	91.00%
(de Santos Sierra et al., 2010)	Acute	HR, EDA	kNN	95.00%
(Sandulescu et al., 2015)	Acute	PPG, EDA	SVM	80.00%
(Mozos et al., 2017)	Acute	EDA, PGG Acc, microphone	kNN, SWM, AdaBoost	94.00%
(Kurniawan et al., 2013)	Acute	GSR, Speech	k-mean, SVM, GMM	92.00%
(Aigrain et al., 2016)	Acute	EMG, GSR RR, Kinect	SVM	85.00%
(Baltaei and Gokcay, 2016)	Acute	pupil dilation, prefrontal temper.	ABRF	65%-84%
(Huang et al., 2016)	Acute	Eye gaze, mouse click behaviour	RF	60.00%
(Akhonda et al., 2014)	Acute	EEG, ECG, EMG, EOG	NN	80.00%
(Ahn et al., 2019)	Acute	EEG, ECG	SVM	87.50%
(Muaremi et al., 2014)	Acute	EEG, GSR, ST, RR	SVM, kNN, NN, RF, LR	73.00%
(Xu et al., 2014)	Chronic	EEG, ECG, GSR, EMG	k-Mean	85.20%
(Sriramprakash et al., 2017)	Chronic	ECG, GSR	SVM, kNN	72.82%
(Hosseini and Khalilzadeh, 2010)	Acute	GSR, EEG, BVP	SVM	84.10%
(Wijsman et al., 2013)	Acute	HR, HRV, GSR, EMG, RR	GEE	74.50%
(Rigas et al., 2011)	Acute	ECG, GSR, RR	BN	96.00%
(Wijsman et al., 2011)	Acute	ECG, RR, GSR, EMG	LBN	80.00%
(Gjoreski et al., 2016)	Acute	GSR, EMG, HR, RR	RF	92.00%
(Cho et al., 2019b)	Acute	PPG, Thermal imag.	NN	78.33%
(Betti et al., 2017)	Acute	ECG, EDA, EEG	SVM	86.00%
(Liew et al., 2015)	Acute	HRV, Cortisol	FAM	80.00%
(Giakoumis et al., 2012)	Acute	ECG, GSR, Acc, Video	LDA	100%

7-суретте кеуде және білек датчиктерінен жиналған физиологиялық деректерді талдауға арналған терең нейрондық желі әдістері.



Сурет 7. Кеуде және білек датчиктерінен жиналған физиологиялық деректерді талдауға арналған терең нейрондық желі әдістері

Басылымда [8] температура мен сенсорлық деректерді пайдаланып стресс деңгейін анықтайтын "StressTrack" жүйесін талдайды. Бұл жүйе жоғары тиімділік көрсетеді және нақты уақыттағы стрессті бақылау үшін Wi-Fi интеграциясын қолдайды. Зерттеу [9] ЭЭГ деректері мен сөйлеу параметрлеріне негізделген психикалық стрессті анықтау жүйесін ұсынады. Психикалық жағдайды анықтау үшін машиналық оқыту әдістері қолданылады.

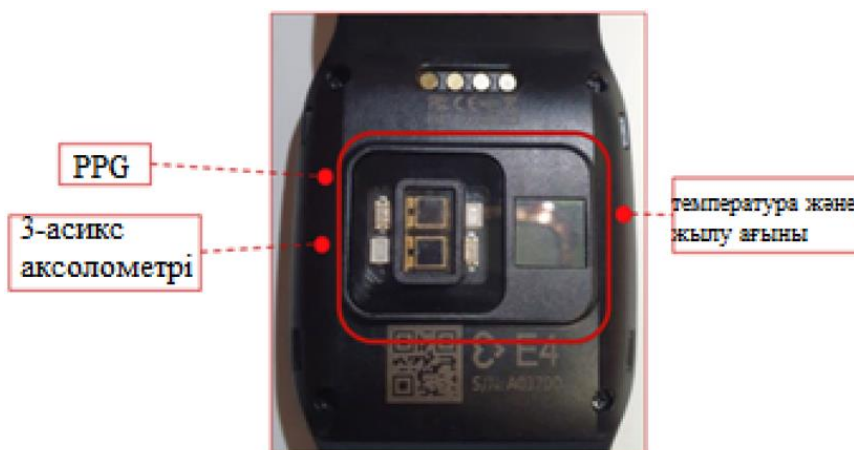
Зерттеу нәтижелері

[10] зерттелген жұмыста, фотоплетизмограмма сенсоры (PPG) бар қол сағатын киген 35 ерікті стресстік сынақтарға қатысып, мәліметтер базасын құру үшін сауалнамаларды толтырды. Нәтижелер стресске жауап ретінде жүрек соғу жиілігінде және тыныс алуда айтарлықтай өзгерістерді көрсетеді. [11] мақалада мәліметтерді жинау және өңдеу, болжау және бағалау кезеңдерін қамтитын стрессті бақылау әдісі ұсынылған. Деректерді талдау үшін кездейсоқ орман, шешім ағашы және XGBoost сияқты әдістер қолданылады. 1 кестеде стрессті бақылау алгоритмдерін таңдау критерийлері 8-суретте көрсетілген.

Қосу критерийлері	Шығару критерийлері
Дені сау (қатар жүретін аурулардың болмауы) 18 жастан 75 жасқа дейін	Денсаулық мәселелері бар Бала емізетін аналар, жүкті әйелдер Дальтониктер

Сурет 8. Критерийлер

Сондай-ақ, 1-кестеде субъектілердің сынақтарға дайындалу шарттары сипатталған. Зерттеулерде, мысалы, [12] жұмысында Empatica E4 сағаты 9-суретте көрсетілгендей бейнеленген.



Сурет 9. Empatica E4 сағаты

[13] мақала стресстік сұхбат кезінде қатысушылардың реакцияларын талдайтын зерттеу нәтижелерін ұсынады. 35 қатысушының 27-сінде (77%) және 28-де (80%) тыныс алу жиілігінде елеулі өзгерістер байқалды. Сонымен қатар, жұмыста мультимодальды физиологиялық деректер негізінде стрессті анықтау үшін машиналық және терең оқытудың әртүрлі әдістері қарастырылған. 3 кестеде стрессті анықтау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану нәтижелері келтірілген.

ЭКГ сенсоры, глюкозаны бақылау үшін инфрақызыл спектрлі датчиктер, қан қысымын өлшеу және темекі шегуді анықтау үшін датчиктер қолданылды.

Кесте 3. Салада кең таралған үлгілердің салыстырмалы талдауы

Үлгі	Алгоритмнің сипаттамасы	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Random forest	Random forest – бұл шешім ағашына негізделген оқыту алгоритмі, ол бірнеше шешім ағаштарын құрастырады және дәлдікті жақсарту үшін олардың болжамдарын біріктіреді. Кездейсоқ орман қарды, маркетинг және денсаулық сақтау сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады.	<ul style="list-style-type: none"> - Мүмкіндіктердің үлкен саны бар жоғары өлшемді деректер жиынын өңдей алады - Жетіспейтін мәндерді және категориялық айнымалыларды алдын ала өңдеуді қажет етпей өңдей алады - Функцияларды таңдау үшін пайдалы болуы мүмкін мүмкіндік маңыздылығының рейтингтерін бере алады - Төмен ауытқу және жоғары дисперсия бар күрделі мәселелер үшін пайдалы болуы мүмкін 	<ul style="list-style-type: none"> - Шектеулі үлгілері бар шағын деректер жиындарында жақсы жұмыс істемеуі мүмкін - Баяу және басқа алгоритмдермен салыстырғанда есептеу қымбатырақ. - Шулы деректер жиынына шамадан тыс қосылуы мүмкін
XGBoost	XGBoost (Extreme Gradient Boosting) – бірнеше әлсіз білім алушыларды дәйекті түрде оқытатын күшейту алгоритмі. Мұнда әрбір келесі оқушы алдыңғысының қателерін түзетуге тырысады. XGBoost өзінің ауқымдылығымен, тиімділігімен және жоғары өнімділігімен танымал және қаржылық болжауда кеңінен таралған.	<ul style="list-style-type: none"> - Жетіспейтін мәндерді және категориялық айнымалыларды алдын ала өңдеуді қажет етпей өңдей алады - Басқа күшейту алгоритмдеріне қарағанда жаттығу уақыты жылдамдырақ - Теңгерімсіз деректер жиынын өңдей алады және үлгілердің аз санымен дәл нәтижелердә шығара алады - Функция таңдау үшін пайдалы болуы мүмкін мүмкіндік маңыздылығының рейтингін береді 	<ul style="list-style-type: none"> - Гиперпараметрлерді таңдауға сезімтал болуы мүмкін - Шектеулі үлгілері бар шағын деректер жиынына шамадан тыс сәйкес келуі мүмкін - Басқа алгоритмдерге қарағанда көбірек жад қажет етуі мүмкін
Decision tree	Decision tree алгоритмі шешімдердің ағаш тәрізді моделін және олардың ықтимал салдарын жасайды. Бұл категориялық және үздіксіз деректерді өңдей алатын қарапайым, әрі түсінікті алгоритм. Ағаштағы әрбір түйін мүмкіндікті білдіреді және әрбір тармақ мүмкіндік мәніне негізделген шешім ережесін көрсетеді. Ол алаяқтарды анықтау, несиелік тәуекелдікті бағалау, диагностика сияқты мақсаттарда қолданылады.	<ul style="list-style-type: none"> - Түсіну және түсіндіру оңай - Категориялық және үздіксіз деректерді өңдей алады - Функцияларды таңдау үшін пайдалы болуы мүмкін мүмкіндік маңыздылығының рейтингін береді - Жетіспейтін мәндерді және категориялық айнымалыларды алдын ала өңдеуді қажет етпей өңдей алады 	<ul style="list-style-type: none"> - Түсіну және түсіндіру оңай - Категориялық және үздіксіз деректерді өңдей алады - Функцияларды таңдау үшін пайдалы болуы мүмкін мүмкіндік маңыздылығының рейтингін береді - Жетіспейтін мәндерді және категориялық айнымалыларды алдын ала өңдеуді қажет етпей өңдей алады

1-кестеде әдістердің дәлдігі мен тиімділігінде айтарлықтай жақсартуларды көрсететін киілетін құрылғылар мен машиналық оқыту арқылы стрессті анықтауға арналған заманауи зерттеулерге шолу жасалған. ЭКГ, импульс, дене температурасы және фотоплетизмография сияқты әртүрлі деректер түрлерін машиналық оқытудың жетілдірілген алгоритмдерімен біріктіру нақты уақыт режимінде стрессті бақылаудың тиімді жүйелерін құруға ықпал етеді. Болашақ зерттеулер деректерді өңдеу әдістерін жетілдіруге және осы технологияларды әртүрлі жағдайларда қолдану аясын кеңейтуге бағытталуы мүмкін. Төмендегі 4-кестеде әдістемелердің мазмұны мен қысқаша сипаттамасы берілген.

Кесте 4. Әдістемелердің мазмұны жазылған кесте

№	Тақырыбы	Автор	Әдістеме және жүзеге асыру
1	Киілетін физиологиялық сенсорды пайдаланып психикалық стрессті анықтау жолдарына қатысты	Ж. Вийсман, Б. Грундлехер, Хао Лю, Г. Герменс.	ЭКГ, тыныс алу, тері өткізгіштігі және трапеция бұлшықеттерінің ЭМГ деректері жазылды. kNN (2 класс) бойынша 80% дәлдікке қол жеткізілді.
2	Стресс пен қолданушы модификациясын зерттеуге арналан SWELL Knowledge Work деректер жиынтығы	С. Колдайк, Марк А. Неерхинкс және В. Крайж	SWELL-KIW деректер жинағы енгізілді. Деректер компьютерге тіркелу кезінде жиналды. Бет-әлпет мимикалары видеоматериалдан, дене қалыптары Kinect 3D сенсорынан және жүрек соғу жиілігі мен тері өткізгіштігі дене сенсорларынан.
3	Киілетін физиологиялық сенсорларды қолдану арқылы стрессті анықтау	В. Сандулеску, Салли Ан Дрюс, Д. Эллис және т.б.	Деректерді жинау үшін BN-PPGED деп аталатын білекке тағылатын құрылғы пайдаланылды. SVM арқылы 82% дәлдікке қол жеткізілді.
4	Киілетін және тікелей әсер ететін мультимодельді WESAD дерекқоры	Ф. Шмидт, А. Рейс, Р. Дюрихен және т.б.	WESAD дерекқоры енгізілді. Машиналық оқыту әдістерін пайдалана отырып, эталон жасалды. Дәлдік – 90%.
5	Көзге түспейтін сенсорларды біріктіру арқылы жұмыс кезселеіндегі стресс деңгейін анықтау	С. Колдайк, Марк А. Неерхинкс және В. Крайж.	Фэйс Аиди, қызметкерлердің бет-әлпеттеріне қарай SVM көмегімен 90% дәлдік.
6	Машиналық оқыту технологиясының көмегімен биосигнал негізіндегі стресс деңгейін анықтау	Медициналық Доктор Фахим Ризван, Райед Фархад және т.б.	ЭКГ RR интервалы, QT аралығы және т.б. стрессті анықтау напратрлері ретінде алынды, SVM текшесін қолдана отырып, 98% дәлдік.
7	Видеоматериалдарда көрсетілген бет-әлпет тегі мимикалар арқылы стрессті анықтау	Г. Джаннакикиса, М. Педиадитиса	Бет-әлпет бейнелерін талдау арқылы 91,68% дәлдікке қол жеткізілді.
8	Смартфондарда орнатылған жасанды интеллект арқылы пайда болған стрессті автоматты түрде анықтау	Э. Гарсиа-Сеха, В. Османи және О. Майора	Смартфонның кірістілген аксерометр сенсорынан деректер стресс деңгейін анықтау үшін пайдаланылды, 71% дәлдік.
9	Білекке тағылатын үздіксіз жұмыс істейтін құрылғы арқылы стрессті анықтау – күнделікті өмірде және лаборатория	М. Гжорески, Х. Гжорески және М. Гамс	Білезік құрылғысынан алынған деректерді пайдалана отырып, екілік класс мәселесінде 83% дәлдікке қол жеткізілді.
10	Музыка таңдаудағы эмоциялардың өзгеруіне байланысты стрессті анықтау	Элизабет Андре, Джонгва Ким	Қолданушылардың эмоцияларының өзгерісін байқау үшін 4 ән тыңдатылды және 70% дәлдікке қол жеткізілді.
11	Физикалық белсенділікке байланысты машиналық оқыту технологиясымен жасалған сымсыз құрылғы арқылы стрессті анықтау	Б. Падмаджа, В.В. Рама және К.В.Н. Сунита	FITBIT – тен жиналған деректер пайдаланылды және 62,14% дәлдікке қол жеткізілді.

Дискуссия

Патент [14] кортизол деңгейін және оның адамның психологиялық жағдайына әсерін бағалау әдісін сипаттайды. Өнертабыстың негізгі мақсаты-терінің -өткізгіштігін өлшеу арқылы сілекейдегі кортизол деңгейін талдауға арналған жүйені және осы жүйеге арналған портативті құрылғыны жасау. Тағы бір өнертабыс [15] физиологиялық қозғалыстарды өлшейтін байланыссыз радиолокациялық сенсор болып табылады. Ол тыныс алу және жүрек соғысы туралы мәліметтерді алу үшін доплерлік сигналдарды талдайды және бұл деректерді құрылғы экранынан көруге болады. Үшінші өнертабыс [16] терінің электрохимиялық көрсеткіштерін өлшеу арқылы аномальды аймақтардың адамға әсерін анықтау әдісін сипаттайды. Бұл әдіс жоғары сезімталдық пен орындаудың қарапайымдылығын ұсына отырып, адамға асимметрия мен теріс әсер ету дәрежесін бағалау үшін тотығу-тотықсыздану потенциалдары мен потенциалдарын өлшейді. Патент [17] медициналық технологияларға қатысты адамның физиологиялық параметрлерін бақылау және түзету үшін арналған құрылғыны сипаттайды. Өнертабыс R-тісті іздеу жүйесін және S-тісті таңдау мен деректерді салыстыру үшін қосымша компоненттерді енгізу арқылы диагностиканың дәлдігін арттыруға бағытталған. Бұл құрылғы медициналық персонал мен пациентке физиологиялық жай-күйі туралы мәліметтер беріп, экспресс-бақылау және өзін-өзі бақылау мүмкіндіктерін қамтамасыз ететін блокпен және екі монитормен жабдықталған. Сонымен қатар, ол жүрек соғу жиілігі арқылы функционалдық жағдайды түзету үшін альтернативті био-басқару әдістерін ұсынады. Патент [18] операторлардың тиімділігін арттыруға бағытталған сыртқы және ішкі стресс факторларына жауап ретінде адамның функционалдық жағдайына әсер ететін әдісті енгізеді. Бұл әдіс жыл мезгіліне байланысты өзгертін және бір минуттан үш минутқа дейін созылатын теріге термиялық әсер етеді, бұл тез сергектікке немесе релаксацияға ықпал етеді. Бұл әдіс процестің едәуір жеделдеуімен және терапевтік әсерлерді таңдауда икемділігімен ерекшеленеді. Патент [19] дене салмағын, жүрек соғу жиілігін және қан қысымын өлшеуге негізделген стресс деңгейін анықтау әдісін ұсынады. Нормалау коэффициенті бар қарапайым формуланы қолданатын бұл әдіс стрессті жоғары сезімталдықпен және қолжетімділікпен бағалауға мүмкіндік береді, өйткені ол арнайы жабдықты қажет етпейді және өзін-өзі бағалауға жарамды. [20] жұмыста графен мен аптамерлерді сенсорлық элементтер ретінде пайдалана отырып, кортизол деңгейін өлшеу үшін кеңейтілген қақпалы өріс транзисторы (EG-FET) ұсынылады. Жоғары сезімталдық пен селективтілікпен сипатталатын бұл сенсор чиптегі миниатюраланған зертханалық жүйелерге немесе дене сұйықтықтарындағы кортизолды бақылауға арналған киілетін құрылғыларға біріктіру үшін өте қолайлы.

Жаппай бақылау контекстінде желіні басқару және деректерді талдау маңызды құрамдас бөліктер болып табылады. Жүйелер нақты уақыт режимінде көптеген пайдаланушылардың сұраныстарын өндеп, алғашқы медициналық көмек көрсету үшін жедел ақпаратпен қамтамасыз етуі қажет. Бұл сенімді желілік инфрақұрылымның болуы мен төтенше жағдайларда жедел әрекет ету үшін деректерді өңдеудің тиімді әдістерін талап етеді. Сонымен қатар, жүйенің масштабталуы маңызды, осылайша ол пайдаланушылар санының артуына сәйкес бейімделіп, денсаулықты үздіксіз бақылауды қамтамасыз ете алады. Бұл сенімді және уақтылы медициналық көмекке кепілдік беру үшін алғашқы медициналық көмек көрсетудің жоғары тиімділігін және деректерді жылдам өңдеуді қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Бүгінгі күні денсаулық сақтау саласындағы заттар интернеті (IoT) зерттеулері белсенді түрде жүргізілуде және инфаркт кезінде қан қысымын қадағалау және демікпе жағдайында тыныстауды қадағалау үшін маңызды екені және олардың тиімділігі айқындалып отыр. Бірақ та, кейбір жағдайлар, көбінесе ауылдық жерлердегі ауруларды тиісті емдеу мен күтімді қамтамасыз ету қажеттілігі тереңірек зерттеуді талап етеді. Денсаулықты сақтау бойынша IT зерттеулеріне көп көңіл бөлініп келе жатқанымен, медициналық көмектердің, дәрі-дәрмектердің және жаңа технологияларға қолжетімділік сияқты сан түрлі факторларға қатысты

емделушілерді тиімді көмек көрсету үнемі қиындықтарға кездесе береді. Бұл саланың жақсы дамып келе жатқанына қарамастан, симптомдарды тура анықтау, емделушілердің тұрғылықты жерін анықтау және жылдам алғашқы медициналық жәрдем көрсету үшін жаңа технологияны одан әрі шұғыл түрде дамытуды қажет етеді. Келтірілген шолудан тұтынушылардың қажеттіліктерін табу үшін ауқаттануын бақылау, демікпені қадағалау және ингаляторларды қолжетімді ету және инсультті анықтау, туғандарын хабардар ету сияқты әр салада қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігі туындады. Қорыта келгенде, денсаулыққа қатысты саласында IoT көмегімен емделушілерді олардың айтарлықтай дамуына бақылау жүргізу және оның алдын алу сияқты әртүрлі адамдардың өмір жасының ұзақтығына байланысты көптеген шешілмеген міндеттер алдымызда қалып отыр.

АЛҒЫС

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыруы есебінен № AP23488439 орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Mohamed Abd Al-Alim, Roaa Mubarak, Nancy M. Salem, Ibrahim Sadek. *A machine-learning Approach for Stress Detection Using Wearable Sensors in Free-living Environments*. // *Computers in Biology and Medicine*. - 2024. - Vol. 179, pp. 108918. doi: <https://doi.org/10.1101/2024.04.27.24305829>

[1] Gideon Vos, Kelly Trinh, Zoltan Sarnyai, Mostafa Rahimi Azghadi. *Generalizable Machine Learning for Stress Monitoring from Wearable Devices: A Systematic Literature Review*. // *International Journal of Medical Informatics*. - 2023. - Vol. 173, pp. 105026. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2023.105026>

[2] Atika Hendryani, Dadang Gunawan, Mia Rizkinia, Rinda Nur Hidayati, Frisa Yugi Hermawan. *Real-time stress detection and monitoring system using IoT-based physiological signals* // *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. - 2023. - Vol. 5, pp. 2807-2815. DOI: [10.11591/eei.v12i5.5132](https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.5132)

[3] V. R. Archana, B. M. Devaraju. *Stress Detection Using Machine Learning Algorithms* // *International Journal of research in engineering, science and manadement*. - 2020. - Vol. 3, pp. 2581-5792.

[4] Ali Tazarvk, Sina Labbaf, Stephanie M. Reich, Nikil Dutt, Amir M. Rahmani, Marco Levorato. *Personalized Stress Monitoring using Wearable Sensors in Everyday Settings* // *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, - 2021.- pp. 7332-7335. Oct 31 - Nov 4, Virtual Conference. DOI: [10.1109/EMBC46164.2021.9630224](https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630224)

[5] Georgios Taskasaplidis, Dimitris A. Fotiadis and Panagiotis Bamidis. *Review of Stress Detection Methods Using Wearable Sensors* // *IEEE Access* PP(99):1-1. 2023. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3373010](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373010)

[6] Russell Li and Zhandong Liu. *Stress detection using deep neural networks* // *BMC Medical Informatics and Decision Making*. - 2020. - Vol. 285, [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). DOI: [10.1186/s12911-020-01299-4](https://doi.org/10.1186/s12911-020-01299-4)

[7] Al-Atawi, A.A., Alyahyan, S., Alatawi, M.N., Sadad, T., Manzoor, T., Farooq-i-Azam, M.; Khan, Z.H. *Stress Monitoring Using Machine Learning, IoT and Wearable Sensors* // *Sensors*. – 2023. - Vol. 23, pp. 8875. <https://doi.org/10.3390/s23218875>

[8] Megha Gupta, Shubhangi Vaikole *Recognition of Human Mental Stress Using Machine Learning Paradigms* // *Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Science & Technology (ICAST)*, - 2020. - <https://doi.org/10.2139/ssrn.3571754>

[9] Talha Iqbal, Andrew Simpkin, Davood Roshan, Atif Shahzad *Stress Monitoring Using Wearable // Sensors: A Pilot Study and Stress-Predict Dataset*. - 2022. - Vol. 22(21). pp 8135. DOI: [10.3390/s22218135](https://doi.org/10.3390/s22218135)

[10] Fatma M. Talaat, Rana Mohamed Elbalka *Stress monitoring using wearable sensors: IoT techniques in medical field* // *Neural Computing and Applications*. - 2023. - Vol. 35(25), pp. [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08681-z>

[11] Pramod Bobade, Vani M. *Stress Detection with Machine Learning and Deep Learning using Multimodal Physiological Data* // *Conference: 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*. – 2020. - <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183244>

[12] 13. Мартин Ауверкерк, Йоанне Хенриэтта Дезире Моник Вестеринк, Татьяна Александровна Лашина, Лешек Холендерский Патент. Россия. Оценка уровня кортизола и психологического

равновесия или нарушения психологического равновесия. – 2012. – <https://patents.google.com/patent/RU2634680C2/ru>

[13] [Amy Droitcour](#), [Byung Kwon Park](#), [Charles El Hourani](#), [Tommy Shing](#), [Alex Vergara](#), [Shuhei Yamada](#) Патент. США. Non-contact physiologic motion sensors and methods for use. – 2010. – <https://patents.google.com/patent/US20100152600A1/en>

[14] [Инюшин В.М.](#), [Дзюба Н.В.](#), [Алиев Т.Ж.](#) Способ определения степени негативного действия аномальной зоны на человека // Патент. Казахстан. – 2006. – <https://kzpatents.com/0-pp17413-sposob-opredeleniya-stepeni-negativnogo-dejstvija-anomalnoj-zony-na-cheloveka.html#text>

[15] [Гондарева Л.Н.](#), [Койчубеков Б.К.](#), [Лазуткин А.Г.](#), [Горшенин С.Ю.](#), [Разумов Н.В.](#), [Тунгатаров Р.Б.](#) Устройство для контроля и коррекции функционального состояния человека // Патент. Казахстан. – 1997. – <https://kzpatents.com/0-4805-ustrojstvo-dlya-kontrolya-i-korrekcii-funkcionalnogo-sostoyaniya-cheloveka.html#text>

[16] [Габдуллина Ельзада Жумагалиевна](#), [Клейнбок И.Я.](#) Способ изменения функционального состояния организма человека // Патент. Казахстан. – 1994. – № 1341, <https://kzpatents.com/0-pp1341-sposob-izmeneniya-funkcionalnogo-sostoyaniya-organizma-cheloveka.html>

[17] [Ю.Р. Шейх-Заде](#), [К.Ю. Шейх-Заде](#). Способ определения уровня стресса // Патент. Россия. – 1997. – <https://patents.google.com/patent/RU2147831C1/ru>

[18] [Shokoofeh Sheibani](#), [Luca Capua](#), [Sadegh Kamaei Bahmaei](#), [Adrian Mihai Ionescu](#). Extended gate field-effect-transistor for sensing cortisol stress hormone // [Communications Materials](#). CC BY 4.0. – 2021. – <https://doi.org/10.1038/s43246-020-00114-x>

References

[1] Mohamed Abd Al-Alim, Roaa Mubarak, Nancy M. Salem, Ibrahim Sadek. A machine-learning Approach for Stress Detection Using Wearable Sensors in Free-living Environments. // *Computers in Biology and Medicine*. - 2024. - Vol. 179, pp. 108918. doi: <https://doi.org/10.1101/2024.04.27.24305829>

[1] Gideon Vos, Kelly Trinh, Zoltan Sarnyai, Mostafa Rahimi Azghadi. Generalizable Machine Learning for Stress Monitoring from Wearable Devices: A Systematic Literature Review. // *International Journal of Medical Informatics*. - 2023. - Vol. 173, pp. 105026. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2023.105026>

[2] Atika Hendryani, Dadang Gunawan, Mia Rizkinia, Rinda Nur Hidayati, Frisa Yugi Hermawan. Real-time stress detection and monitoring system using IoT-based physiological signals // *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. - 2023. - Vol. 5, pp. 2807-2815. DOI: [10.11591/eei.v12i5.5132](https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.5132)

[3] V. R. Archana, B. M. Devaraju. Stress Detection Using Machine Learning Algorithms // *International Journal of research in engineering, science and manadement*. - 2020. - Vol. 3, pp. 2581-5792.

[4] Ali Tazarvk, Sina Labbaf, Stephanie M. Reich, Nikil Dutt, Amir M. Rahmani, Marco Levorato. Personalized Stress Monitoring using Wearable Sensors in Everyday Settings // 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), - 2021.- pp. 7332-7335. Oct 31 - Nov 4, Virtual Conference. DOI: [10.1109/EMBC46164.2021.9630224](https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630224)

[5] Georgios Taskasaplidis, Dimitris A. Fotiadis and Panagiotis Bamidis. Review of Stress Detection Methods Using Wearable Sensors // *IEEE Access* PP(99):1-1. 2023. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3373010](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373010)

[6] Russell Li and Zhandong Liu. Stress detection using deep neural networks // *BMC Medical Informatics and Decision Making*. - 2020. - Vol. 285, CC BY 4.0. DOI: [10.1186/s12911-020-01299-4](https://doi.org/10.1186/s12911-020-01299-4)

[7] Al-Atawi, A.A., Alyahyan, S., Alatawi, M.N., Sadad, T., Manzoor, T., Farooq-i-Azam, M.; Khan, Z.H. Stress Monitoring Using Machine Learning, IoT and Wearable Sensors // *Sensors*. – 2023. - Vol. 23, pp. 8875. <https://doi.org/10.3390/s23218875>

[8] [Megha Gupta](#), [Shubhangi Vaikole](#) Recognition of Human Mental Stress Using Machine Learning Paradigms // [Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Science & Technology \(ICAST\)](#), - 2020. - <https://doi.org/10.2139/ssrn.3571754>

[9] [Talha Iqbal](#), [Andrew Simpkin](#), [Davood Roshan](#), [Atif Shahzad](#) Stress Monitoring Using Wearable // *Sensors: A Pilot Study and Stress-Predict Dataset*. - 2022. - Vol. 22(21), pp 8135. DOI: [10.3390/s22218135](https://doi.org/10.3390/s22218135)

[10] [Fatma M. Talaat](#), [Rana Mohamed Elbalka](#) Stress monitoring using wearable sensors: IoT techniques in medical field // [Neural Computing and Applications](#). - 2023. - Vol. 35(25), pp. CC BY 4.0. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08681-z>

[11] [Pramod Bobade](#), [Vani M.](#) *Stress Detection with Machine Learning and Deep Learning using Multimodal Physiological Data* // Conference: 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA). – 2020. - <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183244>

[12] [Martin Auverkerk](#), [Joanne Henrijetta Dezire Monik Vesterink](#), [Tat'jana Aleksandrovna Lashina](#), [Leshek Holenderskij](#) (2012) Patent. Rossiya. Ocenka urovnja kortizola i psihologicheskogo ravnovesija ili narusheniya psihologicheskogo ravnovesija [Assessment of cortisol levels and psychological balance or psychological imbalance]. <https://patents.google.com/patent/RU2634680C2/ru> (In Russian)

[13] [Amy Droitcour](#), [Byung Kwon Park](#), [Charles El Hourani](#), [Tommy Shing](#), [Alex Vergara](#), [Shuhei Yamada](#) Патент. США. Non-contact physiologic motion sensors and methods for use. - 2010. - <https://patents.google.com/patent/US20100152600A1/en>

[14] [Injushin V.M.](#), [Dzjuba N.V.](#), [Aliev T.Zh.](#) (2006) Sposob opredelenija stepeni negativnogo dejstvija anomal'noj zony na cheloveka [Method for determining the degree of negative impact of an anomalous zone on a person]. Patent. Kazahstan. <https://kzpatents.com/0-pp17413-sposob-opredeleniya-stepeni-negativnogo-dejstvija-anomalnoj-zony-na-cheloveka.html#text> (In Russian)

[15] [Gondareva L.N.](#), [Kojchubekov B.K.](#), [Lazutkin A.G.](#), [Gorshenin S.Ju.](#), [Razumov N.V.](#), [Tungatarov R.B.](#) (1997) Ustrojstvo dlja kontrolja i korrekcii funkcional'nogo sostojanija cheloveka [Device for monitoring and correcting the functional state of a person]. Patent. Kazahstan. (In Russian) <https://kzpatents.com/0-4805-ustrojstvo-dlya-kontrolya-i-korrekcii-funkcionalnogo-sostoyaniya-cheloveka.html#text>

[16] [Gabdullina El'zada Zhumagalievna](#), [Klejn bok I.Ja.](#) (1994) Sposob izmeneniya funkcional'nogo sostojanija organizma cheloveka [A method of changing the functional state of the human body]. Patent. Kazahstan. № 1341, <https://kzpatents.com/0-pp1341-sposob-izmeneniya-funkcionalnogo-sostoyaniya-organizma-cheloveka.html> (In Russian)

[17] [Ju.R. Shejh-Zade](#), [K.Ju. Shejh-Zade.](#) (1997) Sposob opredelenija urovnja stressa [Method for determining stress levels]. Patent. Rossiya. <https://patents.google.com/patent/RU2147831C1/ru> (In Russian)

[18] [Shokoofeh Sheibani](#), [Luca Capua](#), [Sadegh Kamaei Bahmaei](#), [Adrian Mihai Ionescu](#). Extended gate field-effect-transistor for sensing cortisol stress hormone // *Communications Materials*. CC BY 4.0. – 2021. - <https://doi.org/10.1038/s43246-020-00114-x>