DOI:10.25696/ELSYS.VC4.RU.01

Препринт 4-й Международной научно-технической конференции VIBRA2021.
Современная психофизиология. Технология виброизображения.

Диагностика Covid-19 технологией виброизображения при анализе микродвижений головы с помощью искусственного интеллекта

В.А. Минкин, А.Ф. Бобров, В.А. Акимов, Е.Г. Лобанова, Я.Н. Николаенко, О.Е. Мартынов, Г.В. Зазулин.
[1]ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис», Санкт-Петербург, Россия, minkin@elsys.ru
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, г. Москва, baf-vcmk@mail.ru

Аннотация: *Обсуждается гипотеза зависимости рефлексных микродвижений головы человека, находящегося в квазистационарном состоянии, от зараженности вирусом COVID-19. Предложен метод определения зависимости параметров вестибулярно-эмоционального рефлекса от COVID-19, различных заболеваний и патологий. Проведены исследования микродвижений головы референтных индивидуумов контрольной группы (с подтвержденным отсутствием заболевания COVID-19) и группы пациентов с подтвержденным диагнозом COVID-19 с помощью технологии виброизображения. Предложены параметры-критерии диагностики COVID для обучения искусственного интеллекта (ИИ) по первичной выборке контрольной группы и группы пациентов. Разработана трехслойная нейронная сеть с прямой связью (40+20+1 сигмоидальных нейрона) для обучения ИИ. Проведено обучение ИИ на первичной выборке пациентов и контрольной группы. Проведено исследование произвольной выборки людей обученным ИИ, и доказана возможность выявления заболевания с помощью предлагаемого метода за неделю до появления клинических симптомов заболевания. Увеличено количество параметров диагностики COVID-19 до 26, и проведено обучение ИИ на выборке 522 измерений: 261 результатов измерений пациентов и 261 результатов измерений контрольной группы. Достигнутая диагностическая точность составила более 99%, 4 ошибки на 522 измерения (2 ложноположительных и 2 ложноотрицательных), специфичность 99,23% и чувствительность 99,23%. Обсуждаются вопросы повышения точности и надежности предлагаемого метода диагностики COVID-19. Намечены дальнейшие пути улучшения характеристик и надежности предлагаемого метода диагностики и самодиагностики COVID-19.*

Ключевые слова: *виброизображение, здоровье, искусственные нейронные сети, ИНС, искусственный интеллект, ИИ, вестибулярно-эмоциональный рефлекс, диагностика заболеваний, телемедицина, COVID-19.*

Covid-19 Diagnosis by Artificial Intelligence Basing on Vibraimage Measurement of Head Movement

Viktor A. Minkin[1], Alexander F. Bobrov[2], Valery A. Akimov[1], Eugeniia G. Lobanova[1], Yana N. Nikolaenko[1], Oleg E. Martynov[1], George V. Zazulin[1]

[1]Elsys Corp, St. Petersburg, Russia, minkin@elsys.ru

[2]State Research Center − Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical and Biological Agency (SRC − FMBC) of Russia, Moscow, Russia, baf-vcmk@mail.ru

В настоящее время эпидемия COVID-19 только нарастает, и на момент написания данной статьи регистрируются рекордные значения зараженных людей в мире (WHO, 2020; Wynants L. et al., 2020). Одним из значимых факторов распространения пандемии является значительное время между заражением пациента и проявлением симптомов заболевания COVID-19 (Soares et al., 2020). Существует значительное количество биохимических методов диагностики COVID-19, которые в основном можно поделить на методы анализа крови и взятие мазков с носоглотки (Ching et al., 2020; Kopel et al., 2020), однако в реальных условиях пандемии в большинстве стран проходит значительное время между взятием теста и получением результата диагностики COVID-19 (Bastos et al., 2020). Например, в России это время может составлять более 2-х недель в силу множества различных причин, несмотря на рекомендации получения результатов тестирования в течение не более 48 часов (Климкин, 2020). При этом даже разрешенные 48 часов являются недопустимо длительным временем для получения результата тестирования, например, в аэропорту, при предсменном контроле работников массовых производств, при посещении массовых мероприятий, при проходе детей в школу и т.д. Таким образом, получается, что известные биохимические методы диагностики заболеваний принципиально не могут являться барьером для распространения инфекций с длительным инкубационном периодом (Laguarta et al., 2020). Это подтверждается значительным распространением COVID-19 в мире, несмотря на все усилия предпринимаемые WHO и различными государствами. Использование контроля температуры в качестве диагностики COVID-19 в местах большого скопления людей создает только иллюзию безопасности, так как именно бессимптомные и бестемпературные носители COVID-19 представляют наибольшую опасность для заражения окружающих (Bwire&Paulo, 2020).

В то же время существует ряд альтернативных технологий выявления COVID-19, которые напрямую не основаны на непосредственном выявлении вируса, а анализируют косвенные последствия его воздействия на организм. Одним из таких известных методов является специфический запах заболевания, который может быть выявлен специально обученными собаками (Jendremy et al., 2020). Понятно, что такой метод выявления заболевания не может стать массовой защитой населения, но он показывает принципиальную возможность диагностики COVID-19 по последствиям воздействия вируса на организм человека.

Другим альтернативным способом диагностики COVID-19 является диагностика по звуку кашля, осуществляемая обученным искусственным интеллектом (Laguarta et al., 2020). По данным авторов, кашель является значимым индикатором заболевания. Кашель здорового человека и человека больного COVID-19 значительно различаются по параметрам, и искусственный интеллект (ИИ), обученный по контрольной выборке и выборке пациентов, находит значимые отличия в параметрах кашля. При этом предлагаемый метод диагностики с помощью ИИ по параметрам кашля имеет явные практические ограничения, так как после кашля каждого человека необходимо проводить санитарную обработку помещений. Кроме того, поражение легких наблюдается не у всех инфицированных COVID-19 (Report, 2020), и такие пациенты не должны выявляться по параметрам кашля. Тем более, что медицинские рекомендации вряд ли могут содержать требование покашлять, так как этот метод может привести к приступам кашля у определенного количества исследуемых пациентов. При простоте анализа кашля для пользователя, алгоритмически этот метод является достаточно сложным, требующим мощной нейронной сети и передачи биометрических данных пользователя (звука кашля) на центральный процессор по сети интернет (Laguarta et al., 2020).

В начале эпидемии COVID-19 был предложен метод диагностики заболеваний с помощью анализа микродвижений головы человека технологией виброизображения

(Минкин&Бобров, 2020). При этом предполагалось использовать анализ синхронизации физиологических процессов Σ[R] как один из основных индикаторов здоровья человека, наряду со вторым показателем, отражающим соответствие рефлексных движений головы человека полученному шаблону Σ[ΔM] по относительно большому количеству (15000) здоровых людей (Минкин&Бобров, 2020; Minkin, 2020). Возможность использования технологии виброизображения для выявления конкретного заболевания была подтверждена ранее при экспресс диагностике рака простаты, когда было доказано, что вестибулярно-эмоциональный рефлекс чутко реагирует на любые изменения в организме (Бланк и др., 2014). Нарушение нормального ритма рефлексных микродвижений головы может происходить как в случае психических изменений, так и в случае физиологической патологии (Minkin&Nikolaenko, 2008). Однако, проведенные нами в первой половине 2020 года исследования показали, что интегральные психофизиологические параметры, определяемые по микродвижениям головы и используемые для определения уровня функционального здоровья или онкологии простаты, оказались слабо чувствительны к выявлению бессимптомных носителей COVID-19, а именно они представляют основную опасность при распространении инфекции (Bastos et al., 2020).

Учитывая то, что ИИ проявил себя достаточно хорошо при решении именно точных задач (Haykin, 2008), где есть возможность провести исследование независимыми методами и сформировать контрольную группу и группу пациентов, используя стандартные методы биохимической и радиологической диагностики, разработчиками технологии виброизображения было принято решение создать искусственную нейронную сеть и обучить ИИ по параметрам виброизображения указанных групп.

Материалы и методики первичного исследования

В качестве первичного материала группы пациентов были использованы 144 измерения программами VibraHT (VibraHT, 2020) или HealthTest (HealthTest, 2020) параметров микродвижений головы пациентов с подтвержденным диагнозом Covid-19 (из них 136 пациентов с подтверждением Covid-19 по КТ и ПЦР в активной фазе и 8 пациентов на бессимптомной стадии заболевания COVID-19). Измерения были сделаны в период с мая по июнь 2020 года. Возраст пациентов был от 25 до 75 лет, соотношение мужчины – женщины (60 – 40)%. Этнический состав – 100% русские. Демографические параметры контрольной группы были подобранны идентично группе пациентов. Программы VibraHT (VibraHT, 2020) и HealthTest (HealthTest, 2020) идентичны по алгоритмам обработки и различаются уровнем профессиональных настроек. Веб-камеры MS LifeCam Cinema и MS LifeCam Studio фиксировали видеоинформацию о голове человека. Разрешение камер было установлено 640x480, частота кадров 30 к/с, в настройках включен черно-белый режим. Положение человека было на расстоянии около 50 см от веб-камеры, размер головы по горизонтали более 200 пикселей. Уровень качества изображения при тестировании программами VibraHT и HealthTest был выше 80% для всех принятых результатов тестирования.

В качестве первичного материала контрольной группы были использованы 144 измерения программой VibraHT (VibraHT, 2020) параметров микродвижений головы пациентов с полным отсутствием симптоматики COVID-19 и отрицательным ПЦР тестом на COVID-19.

Относительно малое количество измерений в группе пациентов и контрольной группе определялось прежде всего двумя факторами. Наличием карантина, введенного в стране (России) на период получения данных, и правовой неопределенностью получения биометрических данных, к которым безусловно относятся результаты измерений микродвижений головы человека. Все участники исследований микродвижений головы человека технологией виброизображения, результаты которых используются в данной работе, подписали Согласие на неперсонализированное использование биометрических данных при публикации результатов исследований.

Для обработки результатов исследований в компании Элсис, Санкт-Петербург, Россия, была разработана и обучена нейронная сеть с трехслойной структурой, приведенной на рисунке 1.

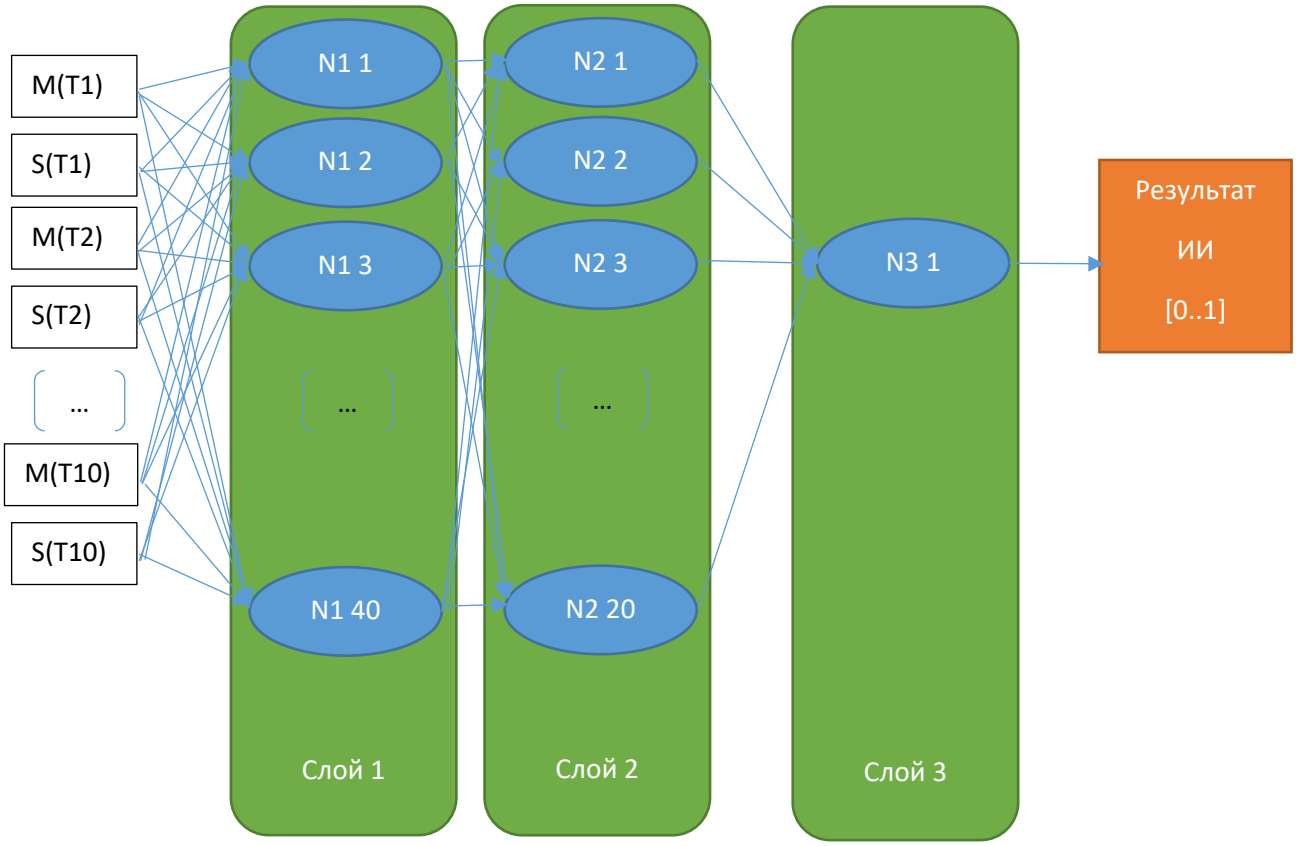


Рис. 1. *Структурная схема нейтронной сети с прямой связью для диагностики COVID-19*

В качестве входных параметров были использованы значения параметров микродвижений головы человека T1-T10 (Минкин, 2020), подаваемые в следующем порядке на каждый входной нейрон первого слоя нейронной сети:

M(T1), S(T1), M(T2), S(T2), M(T3), S(T3), M(T4), S(T4), M(T5), S(T5), M(T6), S(T6), M(T7), S(T7), M(T8), S(T8), M(T9), S(T9), M(T10), S(T10). В технологии виброизображения параметры T1-T10 определяются таким образом, чтобы иметь минимальную корреляцию между собой (Minkin, 2017; 2020), поэтому ограниченное количество параметров максимально информативно характеризует рефлексные микродвижения головы (Minkin&Nikolaenko, 2008).

Где: M(Ti) – медианное значение параметра за время измерения,

S(Ti) – СКО параметра за время измерения.

Все входные параметры M(Ti) и S(Ti) приведены к диапазону [0..1].

После формирования нейронной сети с конфигурацией, приведенной на рисунке 1, было проведено обучение ИИ на полученных базах данных измерений контрольной группы и группы пациентов. Обучение проводилось на компьютере Sony Vaio с процессором i7, RAM=16Gb и заняло 24 часа.

После обучения ИИ разбраковал две группы с точностью 94%, из 288 результатов оказалось 15 ошибок: 7 ложных результатов в группе больных и 8 ложных результатов в группе здоровых. Из 7 ложных результатов в группе больных 4 относились к измерениям больных на поздней стадии COVID-19, но были оставлены в обучающей выборке, так как способность к заражению на поздней стадии заболевания еще недостаточно изучена (Huang et al., 2020).

Дискриминантная функция ИИ была настроена таким образом, что при равенстве количества измерений в обучаемых выборках пороговым значением для принятия решения о размещении результата негативного или позитивного является величина 0,5, что отражено на рисунке 2.

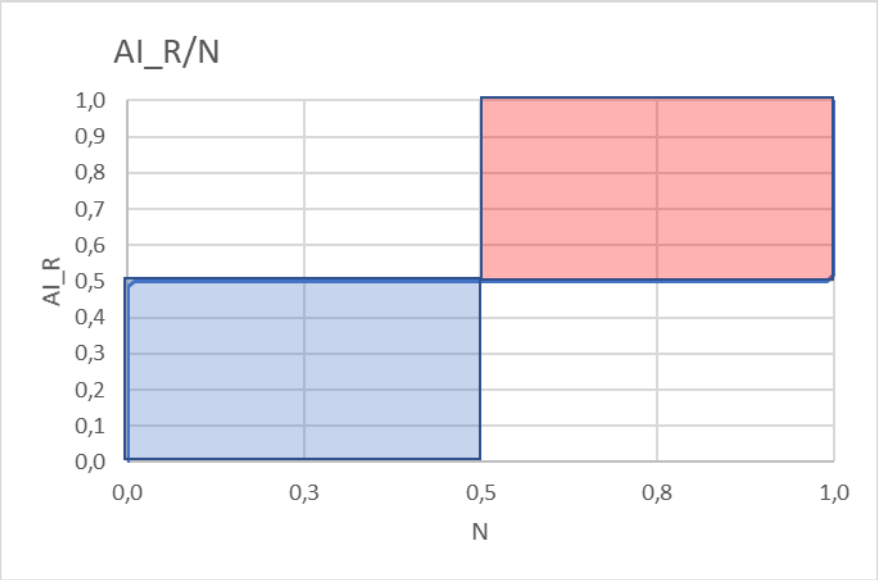


***Рис. 2**. Функция принятия решения ИИ при разбраковке контрольной и референтной групп*

Результаты принятия решения ИИ со значением менее 0,5 относятся к ковид отрицательным, а результаты с значением выше 0,5 относятся к ковид положительным.

Результаты исследований на базе первичного эксперимента

По полученным результатам в ходе первичных исследований были внесены изменения в программы HealthTest и VibraHT, кроме имевшихся в них интегральных показателей здоровья Σ[R] и Σ[ΔM] был добавлен показатель вероятности COVID-19, рассчитанный на основе дискриминации входных данных ИИ. Так как в начале августа 2020 года появился Федеральный закон об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации (258-ФЗ, 2020), позволяющий использовать телемедицину в практической области, то в компании Элсис, (Санкт-Петербург, Россия) было принято решение о ежедневном предсменном контроле каждого работника программой HealthTest с 1 сентября 2020 года.

20 октября при таком предсменном контроле у одного из работников предприятия Элсис (мужчина, 66 лет) программа показала вероятное наличие COVID-19. Результат этого измерения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Выявление COVID-19 при нормальных интегральных показателях здоровья

10-20-13-16		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 29,56 (>20,0)
t=61s		Σ[ΔM] = 3,92 (<4,0)
		AI = 100,00 (<50)

Приведенные в таблице 1 показатели здоровья и нормы на них описаны в программах HealthTest (HealthTest, 2020) и VibraHT (VibraHT, 2020). Обратим внимание, что не только интегральные показатели здоровья на момент 20 октября у сотрудника находились в норме, но и все другие психофизиологические и психоэмоциональные параметры, определяемые программой HealthTest (HealthTest, 2020) и приведенные на рисунке 3, также находились в пределах норм (кроме вероятности COVID-19, определенной ИИ).

Результаты психо-эмоционального тестирования

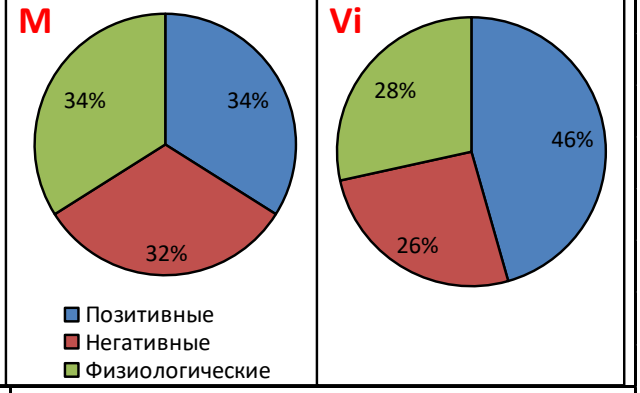
Имя	XXX	**ID**	YYYY
Пол	M	**Дата**	20.10.20 13:17
Возраст	^^	**Σ Vi**	23,6093

Результаты по 10 параметрам

Параметр	Мин	Ср	Макс	Vi	Параметр	Мин	Ср	Макс	Vi
Агрессия (20 ~ 50)	20,5	30,725	36,4	12,2	Стресс (20 ~ 40)	31,1	48,518	59,9	19,0
Тревожность (15 ~ 40)	10,5	34,6587	54,6	24,5	Опасность (20 ~ 50)	25,6	37,8054	46,2	11,3
Уравновешенность (50 ~ 100)	37,4	65,1141	77,7	14,0	Харизматичность (40 ~ 100)	22,4	36,9203	77,2	51,1
Энергичность (10 ~ 50)	6,5	8,86455	18,9	31,1	Саморегуляция (50 ~ 100)	38,1	49,5366	77,2	21,4
Торможение (10 ~ 25)	9,3	15,1912	31,9	36,4	Невротизм (10 ~ 50)	1,3	55,3601	75,1	15,1
Депрессия (20 ~ 50)	25,3	34,11	43,1	11,4	Счастье (50 ~ 100)	48,6	55,80	68,6	10,3

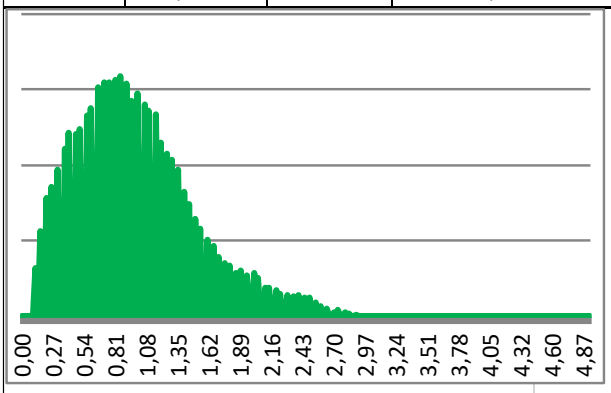
Диаграмма параметров

Диаграмма эмоций



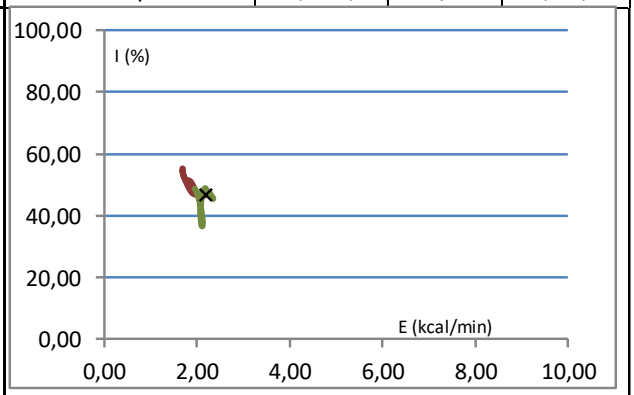
Частотная гистограмма

Mf	0,981	S	0,531



Психо-энергетическая диаграмма

Psy	36,6-55,2	кКал/мин	1,7-2,4



Результат тестирования: [Достоверность 100% / 67]

Экстравертность	**59,6451**	**Стабильность**	75,4798

Рис. 3. *Значения психофизиологических параметров при раннем обнаружении COVID-19*

Естественно, что сотрудник с подозрением на COVID-19 был отправлен на карантин, хотя температура у него в тот момент была 36,5 и никаких внешних признаков ОРВИ или COVID-19 у него не наблюдалось. Первые признаки COVID-19 (температура 37,5; головная

боль; слабость) появились в понедельник 26 октября, т.е. через 6 дней после выявления COVID-19 программой HealthTest, 27 октября был вызван врач, назначивший лечение (Азитромицин 500 мг. по 1 таб. 9 дней + 3 дня, Ингавирин 90 мг. по 1 таб. 1 раз в день, 7 дней, Тромбо АСС 75 мг по 1 таб. 1 раз в день, 10 дней, Гриппферон (капли в нос) 5 раз в день, 7 дней) и давший направление на КТ, на котором было установлено 25% поражение легких.

Выборочные данные мониторинга интегральных показателей здоровья, определяемые программой HealthTest (HealthTest, 2020) для данного пациента в ходе заболевания и лечения, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Выявление динамики изменения интегральных показателей здоровья программой HealthTest при заболевании COVID-19

10-20-13-16		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 29,56 (>20,0)
t=61s		Σ[ΔM] = 3,92 (<4,0)
		AI = 100,00 (<50)
10-25-09-47-32		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 21,90 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 3,29 (<4,0)
		AI = 100,00 (<50)
10-27-18-09		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 19,99 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 4,05 (<4,0)
		AI = 0,00 (<50)
10-28-17-57		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 15,14 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 4,44 (<4,0)
		AI = 0,00 (<50)
10-31-19-55		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 18,82 (>20,0)
t=181s		Σ[ΔM] = 3,27 (<4,0)
		AI = 100,00 (<50)
11-01-14-13		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 13,63 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 4,23 (<4,0)
		AI = 99,92 (<50)
11-10-12-31		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 22,26 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 2,27 (<4,0)
		AI = 95,73 (<50)

11-16-11-56		Показатель (норма)
Здоровье		Σ[R] = 30,26 (>20,0)
t=180s		Σ[ΔM] = 2,74 (<4,0)
		AI = 0,00 (<50)

Приведенные выборочные данные из большого массива проведенных исследований показывают основные тенденции изменения как интегральных показателей здоровья, так и динамику диагностики COVID-19. Зеленый цвет в ячейках Здоровье таблицы 2 показывает нахождение двух индикаторов здоровья внутри нормы, желтый цвет в ячейке Здоровья таблицы 2 показывает нахождение одного индикатора вне нормы, зеленый цвет показывает нормальное Здоровье на основе двух индикаторов внутри установленных норм. Индикатор AI из таблицы 2 показывает результат диагностики COVID-19 программой HealthTest, также зеленый цвет − это нормально, красный − высокая вероятность COVID. Проведенный в день последнего измерения в таблице 2, 16 ноября 2020 года, иммуноферментный анализ показывал IgA = 4,33 и IgG = 3,46. Наличие антител указывает на иммунитет к COVID-19 и завершение заболевания.

Динамика индикаторов здоровья (Minkin&Bobrov, 2020) показывает заметное ухудшение общих показателей здоровья в активной фазе заболевания и практически их восстановление примерно через 3 недели с момента заболевания для данного конкретного пациента.

Материалы и методики основного исследования

Заболевание нашего сотрудника, а затем и его жены позволило нам значительно пополнить базу данных измерений пациентов с подтвержденным COVID-19 и естественно набрать большее количество данных в контрольную группу.

На момент написания данной статьи количество измерений пациентов с подтвержденным COVID-19 составило 261 измерений и 261 измерений в контрольной группе (всего 522 измерений). Была оставлена прежней структура нейронной сети, приведенная на рисунке 1, и увеличено количество входных параметров виброизображения, характеризующих микродвижения головы с 20 до 26.

В ходе основного исследования было проведено обучение ИИ нейронной сети (с конфигурацией, приведенной на рисунке 1) на дополненных базах данных измерений контрольной группы и группы пациентов. Обучение проводилось на том же компьютере Sony Vaio с процессором i7, RAM=16Gb и заняло 1 час.

После обучения ИИ разбраковал две группы по 261 измерений с точностью выше 99%, из 522 результатов выявлено 2 ошибки: 2 ложных положительных результата в группе больных и 0 ложных отрицательных результатов в группе здоровых. На рисунке 4 приведена кривая чувствительность-специфичность по полученной выборке в 522 в соответствии с ГОСТ Р 53022.3-2008 (ГОСТ Р 53022.3, 2008).

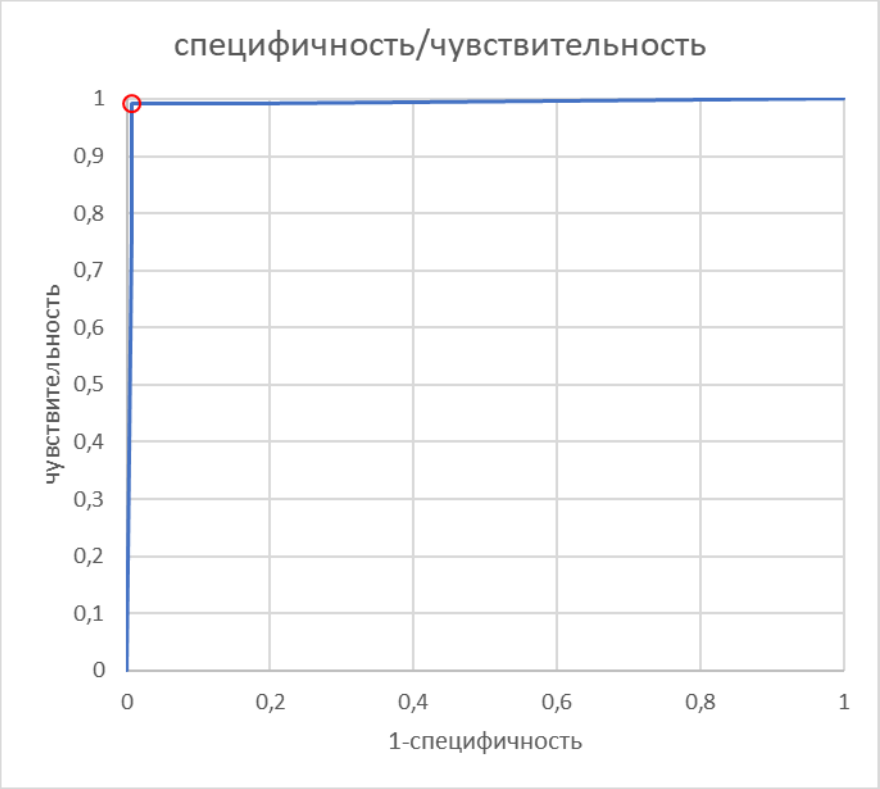


***Рис. 4**. Зависимость специфичность-чувствительность в выборке 522 измерений диагностики COVID-19 по параметрам виброизображения при измерении микродвижений головы человека*

Результирующее значение чувствительности составило 100%, результирующее значение специфичности составило более 99,4%.

Распределение значений чувствительности и специфичности для групп COVID-19 отрицательных и положительных по выборке 522 исследованных в зависимости от представленных пороговых значений результатов ИИ приведено в таблице 3.

Таблица 3

Плотность распределения результатов решений ИИ для контрольной группы и группы пациентов

	Порог значений ИИ	Специфичность
Здоровые	0,5	99,23%
	0,000005	94,25%
	0,000003	93,10%
	0,000002	92,34%
	0,000001	91,19%
	Порог значений ИИ	Чувствительность
Больные	0,5	99,23%
	0,999995	85,82%
	0,999997	83,52%
	0,999998	82,38%
	0,999999	81,23%

Данные, приведенные в таблице 3, показали незначительное отличие полученных результатов от идеальной ломанной разбраковки групп пациентов и контрольной. Отличия в значениях чувствительности реальных значений не превышали отклонение в четвертом

знаке после запятой для обоих групп, причем количество неидеальных замеров было минимальным.

Общая ошибка разбраковки по группам (2 результата из 522) составила менее одного процента, соответственно, общая точность разбраковки по группам составила 99,6%.

В таблице 4 показаны коэффициенты значимости 28 входных параметров при обработке первой линии нейронной сети, показывающие различное влияние входных параметров на результат разбраковки. Желтой строкой выделены максимальные коэффициенты значимости, полученные для каждого входного параметра.

Таблица 4

Максимальна значимость входных параметров первого слоя созданной нейронной сети

		M(T1)	S(T1)	M(T2)	S(T2)	M(T3)	S(T3)	M(T4)	S(T4)	M(T5)	S(T5)	M(T6)	S(T6)	M(T7)	S(T7)	M(T8)	S(T8)	M(T9)	S(T9)	M(T10)	S(T10)	M(T11)	S(T11)	M(T12)	S(T12)	res 1	res 2	sat	Σ|R|
max(w)		19	51	15	38	21	18	9	26	14	37	8	38	46	105	12	17	22	32	19	23	8	13	11	36	1	1	3	12
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
нейроны первого слоя	1	19	8	5	9	5	17	5	18	14	28	2	18	20	63	1	2	0	6	5	17	0	1	1	2	0	0	0	5
	2	11	12	2	32	2	2	7	6	1	9	1	5	8	21	3	4	7	5	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	3	32	4	30	21	4	6	9	7	24	1	6	1	4	3	15	2	1	2	22	4	9	4	7	0	0	1	3
	4	9	34	5	14	9	12	7	13	7	24	8	2	3	8	12	3	6	2	6	23	2	9	9	36	0	0	3	5
	5	1	32	15	23	6	6	3	11	1	5	3	2	13	12	3	2	19	9	10	17	0	2	5	5	0	0	1	4
	6	3	34	8	11	1	2	2	24	0	10	0	11	5	1	2	2	6	1	1	17	1	0	0	0	0	0	2	1
	7	11	13	1	19	10	1	6	15	6	28	3	1	3	23	0	6	0	3	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	10	22	4	13	10	2	4	22	3	11	1	15	11	17	2	5	20	14	11	3	3	1	5	5	0	0	2	0
	9	5	25	9	5	0	1	2	20	2	8	2	16	0	17	1	17	8	8	2	15	0	0	6	10	0	0	0	4
	10	2	22	3	14	9	13	3	16	3	2	1	4	10	17	4	6	17	0	8	7	2	6	5	3	0	0	1	0
	11	1	22	1	38	9	10	6	8	6	16	4	6	5	16	1	6	17	32	19	17	7	3	2	1	0	0	2	2
	12	6	19	7	24	1	2	4	8	2	2	4	8	2	30	3	1	1	20	19	6	4	6	2	1	0	0	3	5
	13	0	6	4	32	7	3	5	3	6	37	3	4	10	6	1	9	9	2	8	5	8	1	7	3	0	0	2	0
	14	6	51	1	25	16	3	6	18	7	19	0	3	1	1	2	3	6	2	4	15	2	13	1	17	0	0	1	1
	15	5	29	2	1	18	13	4	14	2	1	5	38	1	50	2	15	17	14	10	6	4	5	6	5	0	0	1	2
	16	12	20	11	13	18	10	6	8	1	5	3	1	13	105	1	2	22	11	10	11	1	11	0	13	0	0	2	0
	17	6	14	6	17	2	8	5	1	4	4	1	1	34	19	3	1	0	12	18	10	0	0	0	0	0	0	1	1
	18	3	45	7	9	1	3	1	26	3	5	4	15	2	4	4	11	9	5	1	14	1	5	2	18	0	0	1	2
	19	10	20	0	13	3	4	7	5	0	7	3	6	4	23	3	8	2	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	13	9	4	23	12	4	9	10	5	9	4	1	46	24	2	9	1	1	1	12	3	10	1	4	0	0	2	0
	21	2	3	1	1	1	3	1	0	1	2	0	3	1	1	1	1	3	0	2	3	3	3	4	6	1	1	1	0
	22	2	5	2	1	3	16	1	3	2	5	2	5	3	3	1	6	2	1	3	6	2	13	3	18	1	0	2	1
	23	1	2	5	4	5	5	1	2	2	5	4	3	7	3	2	2	4	1	3	5	4	4	7	16	0	0	1	2
	24	3	3	3	1	3	8	1	6	7	4	5	0	1	0	7	1	1	2	1	8	3	3	4	4	1	1	2	3
	25	3	1	6	26	1	2	0	19	4	7	3	9	5	4	0	8	4	5	5	8	8	2	10	4	1	0	0	5
	26	1	1	1	4	1	13	0	7	1	2	0	3	1	5	0	2	2	4	3	11	1	4	1	6	0	0	0	11
	27	2	0	2	1	1	4	2	0	4	1	2	1	2	1	2	1	2	1	0	3	3	0	1	1	1	1	1	4
	28	0	3	0	3	1	14	2	3	4	1	4	1	3	3	4	2	6	1	6	6	1	6	3	8	0	1	0	7
	29	0	5	1	0	2	10	2	4	0	7	1	2	0	6	1	2	5	5	1	11	1	8	2	24	0	0	1	2
	30	2	7	0	2	1	18	1	1	3	1	3	3	1	2	0	2	5	1	2	18	1	8	1	8	1	0	2	9
	31	1	4	1	2	0	6	2	1	1	1	3	1	3	0	1	0	3	0	3	3	3	3	3	14	1	1	1	2
	32	3	2	1	2	2	2	1	0	0	0	1	1	3	1	0	1	2	2	5	3	1	1	2	3	0	1	2	5
	33	2	5	2	2	4	18	4	4	0	2	0	5	0	2	1	3	1	1	2	12	3	0	0	14	1	0	0	11
	34	3	14	8	2	2	9	3	3	1	14	2	2	2	2	1	10	11	2	2	14	2	9	3	13	1	0	0	9
	35	2	1	4	3	3	9	2	6	3	9	0	2	1	6	2	5	5	2	5	1	2	2	1	9	0	0	2	4
	36	1	3	2	1	1	3	1	0	1	4	1	4	1	5	1	0	1	2	2	3	2	12	5	7	1	0	1	12
	37	2	6	2	2	0	7	1	2	4	3	0	2	1	2	1	2	2	2	0	6	5	1	3	17	0	1	1	7
	38	2	7	1	8	4	5	1	7	1	5	1	1	1	5	1	5	4	7	8	0	0	9	7	2	1	0	1	5
	39	4	3	3	5	4	11	2	7	2	0	5	0	4	2	3	4	3	2	2	12	2	8	8	1	0	0	1	3
	40	4	3	4	7	2	10	2	6	0	8	1	2	0	1	2	4	1	3	0	9	0	3	11	9	0	0	0	2

Скорее всего, входные параметры с незначительной значимостью в выделенной цветом строке таблицы 4 (например, значимость менее 5) в дальнейшем могут быть заменены другими входными параметрами, характеризующими более информативные параметры микродвижений головы человека и обеспечивающие более высокое качество разбраковки групп при диагностике COVID-19.

Обсуждение результатов и дискуссия

Авторы понимают, что приведенная статистика может заметно изменится при увеличении количества измерений, и делать выводы об уверенной 99% точности метода диагностики COVID-19 по анализу микродвижений головы еще рано. Тем более, что количество полученных измерений значительно превышает количество исследованных пациентов (14 пациентов на 256 измерений). Однако, приведенный результат позволяет оптимистически смотреть на высокую точность диагностики COVID-19, так как обсуждаемый метод имеет значительные резервы в предоставлении дополнительной информации о микродвижениях головы человека, прежде всего в неограниченном увеличении входных параметров на обработку ИИ. Кроме того, ранее была показана высокая чувствительность вестибулярно-эмоционального рефлекса к выявлению различных заболеваний, в том числе не инфекционных (Бланк и др., 2012). Дополнительным аргументом высокой точности предлагаемого метода диагностики COVID-19 является возможность проводить обучение ИИ на пациентах с различным подтверждением COVID-19 (ПЦР, серология, КТ), что позволяет избегать систематических ошибок диагностики, свойственных каждому из данных биохимических методов или радиологии в отдельности.

Возможность получения результатов микродвижений головы на разных стадиях заболевания также является относительным преимуществом обучения ИИ в предлагаемом методе. Например, из таблицы 2 следует, что первичная программа диагностики не смогла выявить COVID-19 в отдельные дни активной фазы заболевания (27 и 28 октября) на фоне

других симптомов заболевания. После добавления этих и других замеров заболевших в основную базу программа успешно выявляет COVID-19 по прошлым результатам данных микродвижений головы. Таким образом, практически каждое измерение микродвижений головы человека с подтвержденным COVID-19 предоставляет уникальную информацию об особенностях заболевания и может быть использовано для обучения ИИ.

При этом, принципиальная простота предлагаемого метода: исследуемый человек всего 1-3 минуты находится перед стандартной веб камерой, подключенной к компьютеру (Minkin, 2017; 2020), на котором установлено бесплатное ПО AIvsCOVID (AIvsCOVID, 2020), открывает неограниченные возможности для использования данного метода при регулярном самотестировании, предсменном контроле, проверках в местах массовых мероприятий, аэропортах, концертах, вокзалах и т.д.

Отдельным вопросом, требующим дальнейшего изучения, является исследование оптимального времени измерения микродвижений головы человека для максимально точной диагностики COVID-19. В обоих группах − пациентов и контрольной, время измерений составляло 1 (40%) и 3 (60%) минуты на одинаковом количестве измерений. Предположительно точность определения средних медианных значений параметров и их СКО незначительно увеличивается при 3-х минутных измерениях (Minkin, 2019), поэтому на данный момент мы рекомендуем проведение 3-х минутных измерений для диагностики COVID-19. Однако, мы считаем, что в ходе дальнейших исследований можно будет уменьшить время тестирования до 1 минуты или даже 30 секунд, за счет увеличения числа входных контролируемых параметров при расчете ИИ и возможном усложнении структуры ИИ. Хотя по результатам текущих измерений все 4 ошибки (2 ложно положительных и 2 ложно отрицательных) относятся к 1 минутным измерениям, таким образом точность COVID-19 диагностики по 3-х минутным измерениям микродвижений головы составляет 100%.

Авторы считают возможным некоторое снижение точности описанного метода диагностики COVID-19 при значительном увеличении количества измерений в обучаемых выборках. В настоящее время при незначительном количестве данных в выборках ИИ может искусственно цепляться за особенности виброизображения, свойственные камерам и условиям измерений, так как реальное виброизображение отличается от идеального виброизображения (Minkin, 2017; 2019). При увеличении количества данных измерений эти псевдоособенности COVID-19 исчезнут, а сможет ли эта потеря быть восполнена обученным ИИ, это открытый вопрос, требующий дальнейшего изучения.

Активное распространение COVID-19 во всех странах требует пересмотра традиционных медицинских методик диагностики и более активного развития бесконтактных компьютерных методов, представителем которых и является технология виброизображения, объединенная с возможностями ИИ.

Авторы выражают готовность к сотрудничеству с различными командами по развитию данного метода, увеличению базы данных для обучения ИИ и повышению точности и надежности получаемых результатов.

Заключение

Мы разработали и предлагаем бесплатный тест на COVID-19 (AIvsCOVID; 2020) с предположительной точностью выше 99%. На наш взгляд, его активное внедрение во всех областях сможет остановить пандемию, а совместные усилия по его доработке смогут сделать его более надежным и, возможно, универсальным для выявления новых еще неизвестных заболеваний. Только регулярное самотестирование и тестирование всех контактирующих с Вами людей поможет остановить пандемию COVID-19.

Литература:

1. Камкин Е.Г. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19), МЗ РФ, версия 8 (03.09.2020) https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/051/777/original/030902020_COVID-19_v8.pdf
2. Минкин В. А. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. 108 с. DOI: 10.25696/ELSYS.B.RU.VI.2007
3. Минкин В.А. О точности технологии виброизображения // Современная психофизиология. Технология виброизображения: Тр. 2-й международной научно-технической конференции, 25–26 июня 2019 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2019. С. 167-179. DOI: 10.25696/ELSYS.VC2.RU.21
4. Минкин В. А. Виброизображение, кибернетика и эмоции. СПб.: Реноме, 2020. 164 с. DOI: 10.25696/ELSYS.B.RU.VCE.2020
5. Минкин В.А., Бобров А.Ф. Диагностика здоровья по оценке десинхронизации сигналов физиологических систем. Первые результаты практического применения программы HealthTest. // Современная психофизиология. Технология виброизображения: Тр. 3-й международной научно-технической конференции, 25–26 июня 2020 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2020. С. 121-130. DOI: 10.25696/ELSYS.14.VC3.RU
6. Пат. RU2515149, МПК A61B 5/11. Способ скрининг диагностики рака простаты / М.А Бланк и др., ООО «МП «Элсис». Завл. 06.02.2012; Опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.
7. 258-ФЗ, Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации, Утвержден 31 июля 2020 года.
8. AIvsCOVID (2020). Программа диагностики COVID-19. Версия AIvsCOVID. Руководство пользователя. Публикации Элсис [Электронный ресурс]. СПб.: Элсис, 2020. URL: http://psymaker.com/downloads/AIvsCOVIDru.pdf (дата обращения 22.10.2020).
9. Bastos, et al. (2020). Diagnostic Accuracy of Serological Tests for Covid-19: Systematic Review and Meta-Analysis, BMJ2020;370:m2516, http://dx.doi.org/10.1136 bmj.m2516
10. Bwire, G.M and L.S. Paulo (2020). Coronavirus Disease-2019: Is Fever an Adequate Screening for the Returning Travelers? Tropical Medicine and Health (2020) 48:14, https://doi.org/10.1186/s41182-020-00201-2
11. Haykin, S. (2008). Neural Networks and Learning Machines Third Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458.
12. HealthTest. Описание программы оценки здоровья HealthTest. Публикации Элсис [Электронный ресурс]. СПб.: Элсис, 2020. URL: https://psymaker.com/downloads/HealthTestRus.pdf (дата обращения 22.10.2020).
13. Huang, et al. (2020). Timely Diagnosis and Treatment Shortens the Time to Resolution of Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia and Lowers the Highest and Last CT Scores From Sequential Chest CT, American Journal of Roentgenology. 2020; 215: 367-373. 10.2214/AJR.20.23078.
14. Kopel, J. et al. (2020). Antibody Tests for COVID-19, Baylor University Medical Center Proceedings. DOI: 10.1080/08998280.2020.1829261
15. Laguarta, J. et al. (2020). COVID-19 Artificial Intelligence Diagnosis using only Cough Recordings, IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology, September.
16. Minkin, V. A., Nikolaenko, N. N. (2008). Application of Vibraimage Technology and System or Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body, Biomedical Engineering, Vol. 42, No. 4, pp. 196–200. DOI: 10.1007/s10527-008-9045-9

17. Report (2020). Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf
18. Soares et al. (2020). A Novel High Specificity COVID-19 Screening Method Based on Simple Blood Exams and Artificial Intelligence. https://doi.org/10.1101/2020.04.10.20061036.
19. VibraHT (2020). Описание программы оценки здоровья VibraHT. Публикации Элсис [Электронный ресурс]. СПб.: Элсис, 2020. URL: https://psymaker.com/downloads/VibraHTRus.pdf (дата обращения 26.10.2020).
20. WHO. (2020) Weekly Operational Update on COVID-19. 30 October 2020. https://www.who.int/publications/m/item/weekly-operational-update---30-october-2020
21. Wynants, L. et al. (2020). Prediction Models for Diagnosis and Prognosis of Covid-19: Systematic Review and Critical Appraisal, BMJ 2020;369:m1328. http://dx.doi.org/10.1136/bmj.m1328