

Революция в телемедицине с помощью новых подходов исследования микровибраций головы человека для диагностики заболеваний и здоровья

В. А. Минкин

ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис»,
Санкт-Петербург, Россия,
minkin@elsys.ru

***Аннотация:** Рассмотрены различные определения термина телемедицина. Предложено считать телевизионные методы диагностики заболевания телемедициной вне зависимости от расстояния между телевизионной камерой или процессором и исследуемым пациентом. Приведены и рассмотрены схемы трех основных методов диагностики заболеваний, основанные на телевизионном анализе микровибраций головы человека технологией виброизображения. Проанализированы достоинства и недостатки каждого метода диагностики заболеваний на основе технологии виброизображения при анализе потокового видео. Показано преимущества использования потокового видео в телемедицине для исследования биомедицинской информации относительно других физиологических сигналов. Приведены преимущества бесконтактного анализа микровибраций, которые при современном развитии информационно-коммуникационных технологий способны привести к революции в телемедицине.*

***Ключевые слова:** телемедицина, ИКТ, виброизображение, диагностика, потоковое видео, COVID-19.*

Telemedicine Revolution by Human Head Microvibration Video Analysis for Health and Diseases Diagnosis

Viktor A. Minkin

Elsys Corp, St. Petersburg, Russia,
minkin@elsys.ru

***Abstract:** Various definitions of the term telemedicine are considered. Proposed to consider television methods for diagnosing a disease as telemedicine, regardless of the distance between the television camera or processor and the patient under study. Block diagrams of three main methods of diseases diagnosis based on television analysis of human head microvibration using vibroimage technology are presented and considered. The advantages and disadvantages of each disease diagnosis method based on vibroimage technology in the analysis of raw video are analyzed. The advantages of raw video using in telemedicine for the study of biomedical information in relation to other physiological signals are shown. It is predicted that the advantages of microvibration contactless analysis given together with the development of information and communications technology will lead a revolution in telemedicine.*

***Keywords:** telemedicine, ICT, vibroimage, diagnostics, raw video, COVID-19.*

Введение

В настоящее время существует множество различных определений термина телемедицина (ТМ), что, по мнению экспертов всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), свидетельствует о том, что ТМ является открытой и постоянно развивающейся наукой (ВОЗ, 2012). Определение ТМ, данное ВОЗ: «Предоставление услуг здравоохранения в условиях, когда расстояние является критическим фактором, работниками здравоохранения, использующими информационно-коммуникационные технологии для обмена необходимой информацией в целях диагностики, лечения и профилактики заболеваний и травм, проведения исследований и оценок, а также для непрерывного образования медицинских работников в интересах улучшения здоровья населения и развития местных сообществ» (WHO, 1998; ВОЗ, 2012). Приведенное определение, на мой взгляд, не самое удачное, так как, во-первых, непонятно какое расстояние следует рассматривать как критический фактор предоставления услуг здравоохранения. Например, является ли расстояние в один метр (или несколько метров) критическим фактором, если оно достаточно для того, чтобы избежать прямого контакта с инфицированным человеком и предотвратить заражение персонала? Во-вторых, определение делает упор на обмен информацией при использовании информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), а не на дистанционном оказании медицинских услуг, что принципиально не соответствует исходному термину ТМ. На мой взгляд, простое определение ТМ как дистанционное оказание медицинских услуг (Strehle, Shabde, 2006) более правильное и соответствующее исходному термину. Первой работой по ТМ принято считать публикацию основоположника электрокардиографии Виллема Эйнтховена (Einthoven, 1906), который описал метод записи электрокардиограммы на расстоянии, впервые показал, что ЭКГ различных заболеваний имеют характерные различия, и сумел провести дистанционную диагностику заболевания. Долгое время передача и анализ ЭКГ была наиболее распространенным примером ТМ, причем автоматический анализ ЭКГ, ставший возможным в 70-х годах 20 века, позволил предпринять попытки массового использования ЭКГ в ТМ (Чирейкин и др., 1977) для автоматизированной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. К концу 20 века термин ТМ прочно вошёл в научную терминологию для описания различных цифровых технологий исследования человека (Юсупов, Полонников, 1998), причем термин ТМ использовался для всех неинвазивных технологий получения биометрической и медицинской информации о человеке. Бурное развитие ИКТ в 21 веке, естественно, способствовало развитию ТМ, так как ВОЗ фокусирует внимание на ее доступности для развивающихся стран и возможности ТМ для выравнивания уровня медицинского сервиса для населения. Пандемия COVID-19 также способствовала развитию ТМ и технологий дистанционного здравоохранения для распространения дистанционных методов диагностики заболевания, лечения и профилактики (Kichloo et al., 2020; Friedman et al., 2022). Пандемия COVID-19 наглядно показала преимущества ТМ при оказании медицинской помощи в условиях высокой заразности заболевания, при этом оказалось возможным обеспечить качество дистанционных медицинских услуг, сравнимым

с традиционной контактной медициной (Kichloo et al., 2020; Mahajan et al., 2020). Большинство описанных применений ТМ было связано с проведением обычных видеоконференций между больным и врачом для установления симптоматики COVID-19, контроля температуры, ЧСС, частоты дыхания, потливости, внешнего вида (Portnoy et al., 2020). То есть, текущий уровень ТМ основан на использовании простой телекоммуникации между пациентом и врачом, симптомы заболевания исследовались самим пациентом с помощью специальных устройств (термометра, пульсоксиметра) или представляли достаточно субъективную информацию о своем самочувствии (боль в горле, насморк, повышенная утомляемость, боль в мышцах и т. д.). Способы получения медицинской информации о состоянии пациента при использовании ИКТ представляли собой независимые от коммуникации методы, а телеконференции использовались только как средства связи без автоматизации процессов диагностики и лечения.

Технология виброизображения (Минкин, 2007; 2020), основанная на телевизионном анализе мускульных микровибраций (Рорахер, Инанага, 1969), позволяет объединить получение медицинской информации о симптомах заболевания и информационно-коммуникационные технологии в один объективный и автоматизированный процесс диагностики заболеваний. После открытия Хубертом Рорахером (Rohracher, 1946) в 1946 году постоянной микровибрации (МВ) мышц как основного источника энергии и тепла в организме человека и теплокровных животных было проведено большое количество исследований различных аспектов этого явления. Многие исследования МВ мышц, проведенные японскими учеными, были посвящены медицинской диагностике различных заболеваний на основе особенностей мышечных МВ (Рорахер, Инанага, 1969) и влиянию лекарств на МВ мышц (Inanaga, Sugano, 1958). Вопрос о природе МВ остается открытым до настоящего времени, обсуждаются различные физические и биохимические механизмы, заставляющие скелетные мышцы человека и теплокровных животных постоянно сокращаться с микронной амплитудой и частотой от 1 до 15 Гц (Sugano, 1957; Haescher et al., 2015; Mohri et al., 2010; Мельников, 2006). Технология виброизображения позволяет бесконтактно исследовать процесс МВ шейных мышц, анализируя изменение положения головы человека в пространстве путем накопления межкадровой разности при программной обработке цифрового видео изображения. При анализе микродвижений головы на физиологический процесс МВ мышц накладывается вестибулярно-эмоциональный рефлекс (Minkin, Nikolaenko, 2008), автономно поддерживающий вертикальное положение головы в гравитационном поле Земли. На итоговое виброизображение головы человека при регистрации МВ оказывает влияние физиологический процесс терморегуляции (Рорахер, Инанага, 1969), энергетической составляющей которого является МВ мышц. Функционирование сердечно-сосудистой системы добавляет кардиосоставляющую МВ (Mohri et al., 2010). Поддержание механического баланса тела вестибулярной системой (Minkin, Nikolaenko, 2008) также вносит свой вклад в регистрируемый виброизображением процесс МВ головы человека. Так как процессы терморегуляции и механического баланса управляются центральной и периферической нервной системой (ЦНС и ПНС), то итоговое виброизображение

оказывается напрямую связанным с работой минимум пяти физиологических систем человека: сердечно-сосудистой, вестибулярной, ЦНС, ПНС и системой терморегуляции. Однако система терморегуляции неразрывно связана не только с мышечной генерацией тепла в организме человека, но и с отводом тепла и поддержанием гомеостаза, за что отвечает кожная система (Тамар, 1976). Получается, что невидимый глазом и кажущийся незначительным процесс МВ головы человека оказывается напрямую или косвенно связанным с работой, практически, всех физиологических систем человека, что обеспечивает его информативность и высокую чувствительность при минимальных изменениях психофизиологического, биохимического или иммунного состояния человека. В плане характеристики интегрального психофизиологического состояния человека процесс МВ головы оказывается более информативным, чем физиологические сигналы, характеризующие функционирование отдельных физиологических систем, например сигнал ЭКГ, характеризующий функционирование сердечно-сосудистой системы; сигнал ЭЭГ, характеризующий функционирование головного мозга; частота дыхания, характеризующая работу системы дыхания. Известно, что существует взаимное влияние между функционированием каждой физиологической системы (Gladyshev, 2014), но при этом каждая физиологическая система человека отвечает за выполнение четко определенных функций и стремится минимизировать постороннее влияние в рамках гомеостаза (Cannon, 1932; Новосельцев, 1978), что делает классические физиологические сигналы информативными для характеристики конкретной физиологической системы, но слабо информативными — для характеристики интегрального психофизиологического состояния человека. Отсутствующая жесткая привязка к работе одной физиологической системы у процесса МВ головы делает этот процесс идеальным именно для характеристики интегрального психофизиологического состояния человека, а значит допускает возможность диагностики заболеваний, имеющих неповторимую симптоматику и изменяющих биохимическое состояние человека.

Целью данного исследования является систематизация данных, анализ преимуществ и недостатков телевизионных методов телемедицины на примере диагностики COVID-19 с помощью технологии виброизображения и искусственного интеллекта.

Основы телевизионных методов диагностики заболеваний при анализе микровибраций головы человека. Предсменный контроль потока людей

Так как ТМ началась именно с обработки физиологических сигналов ЭКГ (Einthoven, 1906), то понимание разработчиками технологии виброизображения МВ головы как физиологического сигнала, привело к созданию целого ряда технических решений и методов диагностики COVID-19 после начала пандемии и набора статистических данных заболевших COVID-19. Первоначально была предпринята попытка алгоритмического анализа данных и нахождения отличий в измеряемых поведенческих параметрах пациентов COVID-19 и контрольной

группы (Минкин, Бобров, 2020). Предложенный метод оценки здоровья, а значит и возможного заболевания, по оценке десинхронизации сигналов физиологических систем был разработан еще до начала пандемии COVID-19 и был основан на результатах, полученных при исследовании циркадных ритмов при онкологических заболеваниях (Бланк, Бланк, 2010). Однако, для диагностики COVID-19 предложенный метод не дал положительного результата и необходимой точности. Для того, чтобы разобраться в причинах этой неудачи необходимо четко понимать особенности анализа МВ головы человека с помощью технологии виброизображения или другой технологии обработки телевизионных изображений.

При контактном измерении МВ основой диагностики заболеваний был сравнительный контроль спектров МВ в диапазоне 5–15 Гц конкретных мышц у больных и здоровых людей (Yoshi et al., 1963; Рорахер, Инанага, 1969). Телевизионный контроль аналогичных спектров МВ головы оказался не слишком информативен и нестабилен по следующим объективным причинам. МВ шейных мышц интегрируются при движении тяжелого механического предмета, которым является голова человека. Кроме того, как я указал ранее, МВ головы человека зависят не только от генерации тепла, но и функционирования различных физиологических систем человека. Контактный анализ МВ, который проводил Рорахер и японские исследователи с помощью контактных акселерометрах на поверхности тела, измерял МВ практически безынерционно, в то время как голова человека является инерционным фильтром низких частот. Кроме того, высокочастотная вестибулограмма МВ головы человека, получаемая как единый сигнал, аналогичный сигналу контактного датчика вибрации (акселерометра), является функцией как шумовых характеристик телевизионного изображения, так и результатов сознательных движений головы человека, потому не следует ожидать прямого переноса результатов, полученных с контактных датчиков вибраций на телевизионные измерения. Зато телевизионные измерения МВ головы дают пространственную картину (матрицу) вибраций, что было невозможно получить при контактном анализе мышечных МВ, а используемое в технологии виброизображения накопление межкадровой разности позволяет минимизировать влияние шумов и сознательных движений на получаемые характеристики МВ (Минкин, 2007; 2020).

Разработчики технологии виброизображения успешно анализировали эмоциональное состояние человека с помощью программной обработки телевизионного сигнала с различных устройств (Минкин, Целуйко, 2014), сформулировав основные принципы измерения эмоций, психофизиологических характеристик и поведенческих параметров, которые постарались использовать для медицинской диагностики. Стандартным требованием к используемой телевизионной системе является максимально возможное вписание головы человека в телевизионный кадр, обеспечивающее микронную точность измерения перемещений. Было установлено, что для устойчивой фиксации микронных перемещений головы (лица) человека изображение головы на фотоприемнике должно составлять не менее 300 элементов фотоприемника по горизонтали (Минкин, 2007). Для этого достаточно иметь формат кадра 640×480 при полном вписании головы человека в кадр по вертикале. Собственные временные шумы фотоприемника

и всей телевизионной системы должны быть минимальны и не превышать 0,1 бит/с. Отношение сигнал-шум является одним из основных характеристик фотоприемников и телевизионных систем при анализе биомедицинской информации из видео (Verkruysse et al., 2008; Wu et al., 2012). Поэтому я не случайно уделяю важное внимание техническим подробностям получения телевизионной информации о МВ головы, так как правильное извлечение физиологического сигнала является основой точности последующей медицинской диагностики. Исследуемый человек при измерении должен находиться в квазистационарном состоянии, т. е. стоять или сидеть на одном месте, так как движение или ходьба невоспроизводимо меняют алгоритм работы вестибулярной системы. Важным требованием к телевизионной системе является обеспечение стабильной частоты кадров не менее 30 к/с при получении потокового видео без сжатия, так как любое сжатие видео грозит потерей информации о МВ. Нахождение посторонних людей в кадре запрещено, так как выделение исследуемого объекта от посторонних требует большей производительности используемого ПО и вносит дополнительные погрешности в результат. Освещенность лица человека должна быть равномерной и стабильной во времени, так как нестабильность освещенности воспринимается технологией виброизображения как дополнительная вибрация. Используемая для получения изображения телевизионная камера должна быть жестко закреплена на объекте, не имеющем собственных вибраций. Компьютер или устройство обработки не должно иметь ограничений по загрузке процессора при обработке видеоизображения программой диагностики, обычно рекомендуется иметь загрузку процессора не более 50% при работе программы диагностики в режиме реального времени.

Выполнение приведенных требований, а также использование предварительно обученного искусственного интеллекта (ИИ) для определения вероятности заболевания (Минкин, Акимов, 2022) позволило проводить дистанционную потоковую диагностику COVID-19 при нахождении человека перед камерой (рис. 1) в течение 5–20 секунд с точностью примерно 90–95% (Акимов и др., 2022), что сравнимо с точностью биохимических (ПЦР) методов. Для эффективного бесконтактного контроля непрерывного потока людей на диагностику COVID-19 оказались важными те же принципы, используемые в биометрических системах идентификации (производительность системы, ошибки FAR/FRR, условия измерения), которые обычно не столь значимы при лабораторных медицинских исследованиях.

Обратим внимание, что приведенная на рисунке 1 схема телевизионной диагностики допускает различные толкования в принадлежности данного метода диагностики к ТМ согласно определению, данному ВОЗ. Расстояние в несколько метров между исследуемым человеком и телевизионной камерой или компьютером теоретически можно назвать критическим фактором, так как оно препятствует заражению персонала. Однако, в большинстве приведенных примеров (ВОЗ, 2012), ВОЗ понимает под критическим — большие расстояния, когда врач и пациент располагаются далеко друг от друга и непосредственный контакт между ними без средств ИКТ физически невозможен.

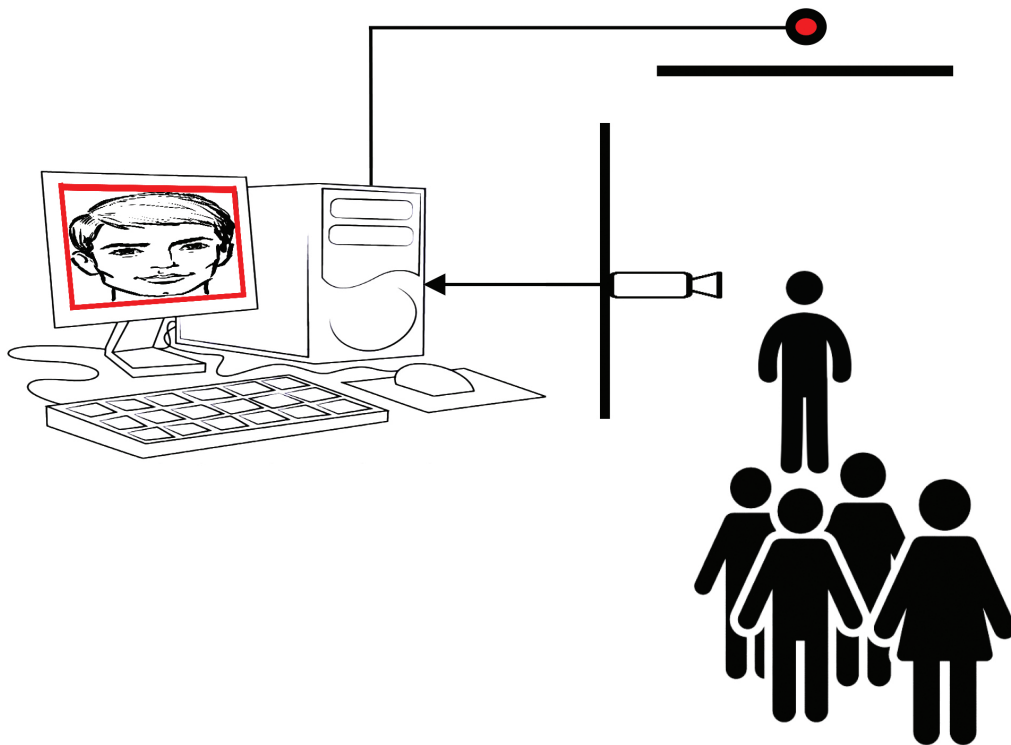


Рис. 1. Схема телевизионной диагностики потока людей при предменном контроле на COVID-19

На мой взгляд, приведенный телевизионный метод диагностики абсолютно соответствует понятию ТМ, так как буквально ТМ — это оказание медицинских услуг на расстоянии, а величина этого расстояния особого значения не имеет. Как показано в работе (Минкин, Акимов, 2022) для ускорения контроля возможно снижение времени диагностики до 5 секунд, естественно, что точность диагностики COVID-19 при этом уменьшается, что может быть компенсировано с помощью многоступенчатого контроля, например только для людей имеющих положительный результат диагностики на COVID-19. Вероятность ошибки чувствительности и специфичности данного метода примерно одинаковы (Минкин, Акимов, 2022), в то время как распределение здоровых к заболевшим обычно значительно смещено в сторону здоровых, поэтому ошибки диагностики именно здоровых людей будут больше влиять на производительность приведенной на рисунке 1 системы диагностики. С другой стороны, ложноотрицательный результат ошибки пропуска больного человека всегда более критичен с точки зрения контроля, поэтому, именно исходя из важности соотношения производительность/ошибка, следует выбирать конкретные значения при установлении порогов диагностики в системе, аналогично ошибкам FAR/FRR в любой биометрической системе.

Особенности медицинской самодиагностики

Все требования, сформулированные ранее для телевизионных систем потоковой диагностики, справедливы и для телевизионной самодиагностики, схема которой с использованием ПК и веб-камеры приведена на рисунке 2.

Схема самодиагностики является достаточно привычной для пользователей ПК, так как она не отличается от стандартной работы, пользователь запускает программу диагностики Covid5s (Минкин, Акимов, 2022) и неподвижно сидит около 20 секунд напротив веб-камеры, контролируя изображение своего лица на экране монитора. Результат диагностики появляется сразу после тестирования и можно протестировать себя несколько раз чтобы убедиться в стабильности получаемого результата.

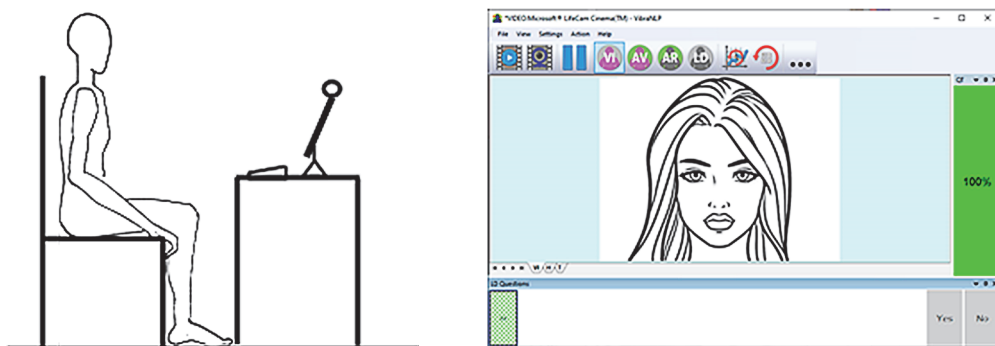


Рис. 2. Положение испытуемого при самотестировании и записи видео относительно веб-камеры и расположение лица на мониторе в интерфейсе программы Covid5s

Корректная схема самодиагностики с применением мобильных устройств приведена на рисунке 3 и мало чем отличается от рисунка 2. Особенность телевизионной самодиагностики, проводимой на мобильных устройствах, заключается в том, что пользователи мобильных устройств не привыкли к жесткой фиксации мобильных телефонов и, в большинстве своем, пытаются проводить самодиагностику, держа телефон в руке. Эта ошибка является самой распространенной для пользователей мобильной версии Covid5s, т. к. движения руки значительно превосходят МВ головы человека и результат диагностики носит случайный характер.

Необходимо обратить внимание, что стул, на котором сидит исследуемый человек при анализе МВ, должен быть не вращающимся, а фиксировано стоящим на полу, так как вращающийся стул вносит определенные искажения в работу вестибулярной системы человека и может значительно увеличить ошибки диагностики. Программа диагностики COVID-19, установленная на мобильный телефон, может работать медленнее компьютерной, если мощность процессора мобильного телефона не позволяет вести диагностику в режиме реального времени, то программа

диагностики переключается на запись видео и его последующую диагностику, время которой зависит от мощности процессора телефона. Так как для самодиагностики время тестирования не является столь значимым фактором как при потоковой диагностике, то мобильная программа самодиагностики настроена на максимальную точность, а не на минимальное время тестирования.

Характеристики телевизионной камеры мобильного телефона несколько отличаются от веб или IP камер, используемых при компьютерной диагностике, поэтому определяемая величина вероятности COVID-19 при одновременной диагностике человека разными методами может несколько различаться при компьютерной и мобильной диагностике, при этом основной результат болен-здоров должен совпадать.

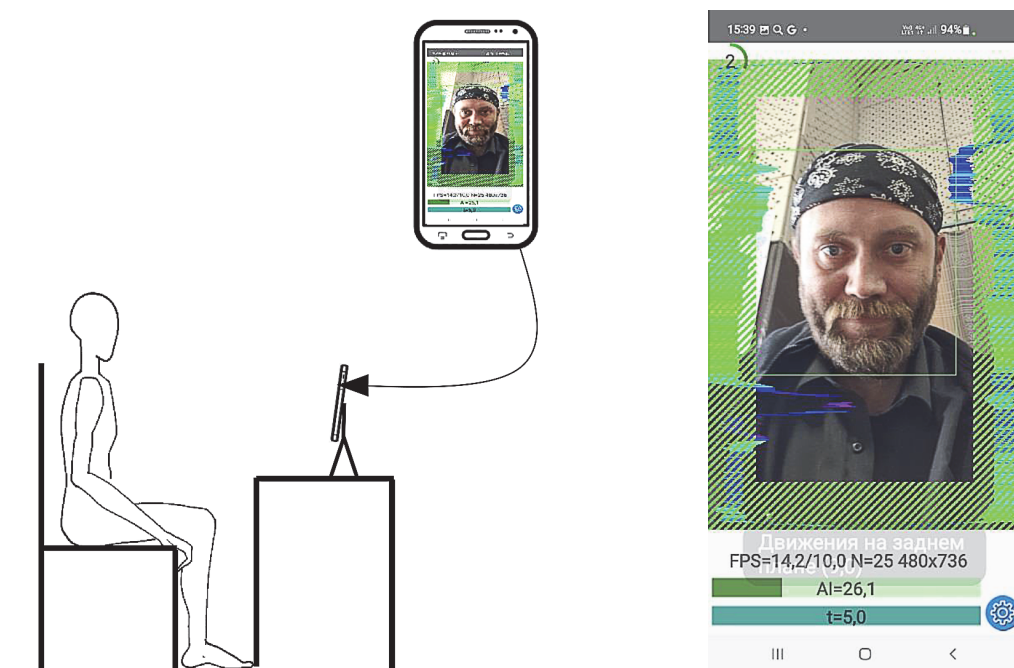


Рис. 3. Положение испытуемого при самотестировании и записи видео относительно мобильного устройства и расположение лица на мониторе в интерфейсе программы Covid5s

Практика использования диагностических программ на основе контроля МВ головы человека показала, что кроме необходимости механической фиксации телефона неподготовленным пользователям сложно обеспечить выполнение и других требований технологии виброизображения, в частности, отсутствие посторонних людей в кадре, равномерность и стабильность освещенности лица и т. д. Поэтому пользователи программ часто обращались в поддержку с различными вопросами и было принято решение разработать новую версию ПО, в которой исследованием пациента руководит специалист в ходе телеконференции.

Особенности медицинской диагностики при проведении телеконференции

Разработанные технические решения диагностики COVID-19 в режиме телеконференции позволяют получать информацию о МВ головы собеседника и полностью соответствуют текущему определению ТМ, данному ВОЗ. Однако, так как все три описанных метода телевизионной диагностики не различаются между собой именно способом получения биометрической информации, то, конечно, указанные методы телевизионной диагностики следует относить к ТМ.

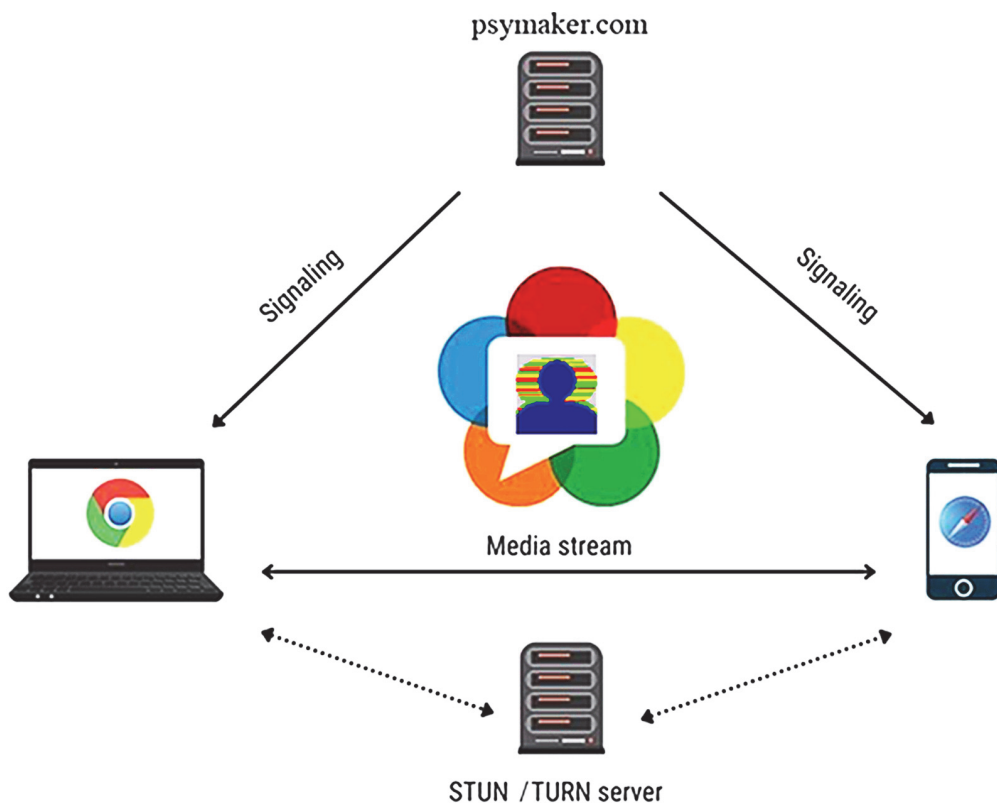


Рис. 4. Структурная схема работы программы VibraMed+ с использованием STUN/TURN серверов и сигнального сервера Psymaker для установки оптимальной маршрутизации между мастер компьютером (Доктор) и интернет-устройствами пользователей (Пациент)

Развитие современных ИКТ, в частности, разработанный коммуникационный проект WebRTC (real time communication) позволяет в реальном времени осуществлять прямую коммуникацию между двумя произвольными устройствами, подключенными к сети Интернет. Причем проект WebRTC предназначен именно для передачи потоковых данных, что хорошо согласуется с ТМ (Antunes et al.,

2016) и технологией виброизображения (Минкин, 2007; 2020), для которой обработка потокового видео без сжатия является одним из основных требований. В схеме дистанционной диагностики, приведенной на рисунке 4, врач запускает диагностику пациента и видит результат диагностики на своем компьютере в отдельном программном окне, пациент при этом видит только врача и общается с ним в режиме обычной видеоконференции.

Значительным преимуществом телекоммуникационного общения между врачом и пациентом является возможность подсказки пациенту оптимальных условий для предоставления видео информации в диагностическую обработку. Если врач замечает, что пациент плохо освещен, сидит на вращающемся стуле, или его мобильное устройство перемещается, то он может подсказать пациенту простые действия, которые позволят устранить явные нарушения. Более того, у пациента, исследуемого в режиме видеоконференции WebRTC, нет необходимости устанавливать специальное ПО на свое устройство, он общается по ссылке в произвольном браузере. А врач при таком общении не только видит пациента и беседует с ним, но и получает биомедицинскую информацию в отдельном программном окне и может провести диагностику пациента, например на COVID-19, не выходя из своего кабинета, даже если пациент находится за тысячи километров от врача, не используя при этом никаких дополнительных медицинских устройств. При этом у пациента отсутствует необходимость подключать дополнительные устройства для своей диагностики (ЭКГ, АД, термометр), МВ головы человека, передаваемая потоковым видео на компьютере врача, содержит огромное количество информации о работе практически всех физиологических систем и органов человека.

Видео изображение как основной источник данных для медицинской диагностики

Основными задачами ТМ является преодоление географических барьеров и расширение доступа к медицинским услугам (ВОЗ, 2012). Современное развитие ИКТ основано на использование видео изображения, так как видео общение является прямым аналогом живого общения для пользователей, разделенных географическими барьерами. При этом видео информация является бесконечным источником медицинской информации о человеке (Акимов и др., 2022). МВ содержат информацию, которую медицинские работники привыкли получать из отдельных физиологических сигналов, таких как ЭКГ, ЭМГ, ЭЭГ, УЗИ, МРТ. Конечно, извлечение привычной медицинской информации из видеоизображения является не совсем простой задачей, похожей на добычу золота из породы и требующей проведения значительного объема исследований. Причем возможно проводить извлечение медицинской информации из видео не только технологией виброизображения, но и другими технологиями, например анализируя цвет лица пациента за счет насыщенности крови кислородом и фотоплетизмографии (Verkruyse et al., 2008; Wu et al., 2012; Viejo et al., 2018). Количество публикаций по использованию ИИ при анализе видео потока лица человека для медицинской диагностики увеличивается экспоненциально с 2013 года (Qiang et al., 2022; Ouyang et al., 2020). Основными

направлениями медицинской диагностики по изображению лица является распознавание выражения лица (Jin et al., 2020) и анализ движения.

При всех очевидных преимуществах видео диагностики по МВ лица человека следует обратить внимание и на существующие проблемы, которые носят принципиальный характер и их не следует недооценивать. Одной из основных проблем диагностики по МВ лица или головы является многофакторность влияния на этот процесс различных физиологических процессов. То, что было указано в предисловии как преимущество МВ и то, что МВ за счет многофункциональной природы позволяет выявлять практически произвольное заболевание одновременно является и недостатком, так как многие заболевания могут оказывать сходные влияния на процесс МВ головы и необходима значительная статистика для выявления значимых признаков заболевания. Как было показано в работах (Акимов, Минкин, 2021; Минкин, Косенков, 2021) средние значения поведенческих параметров, определяемые по МВ головы, практически не различаются у контрольной группы и пациентов COVID-19 и не дают возможности диагностировать заболевание без применения обученного ИИ. Следовательно, изменения характера МВ, присущие каждому конкретному заболеванию, являются совсем незначительными и их практически невозможно формально алгоритмизировать. В то время как современная медицина привыкла именно к прозрачной привязке известных биологических параметров и установлению норм на биологические параметры, а непрозрачность решений ИИ создает дополнительные сложности в медицинских применениях (Иванова, 2021).

Другой проблемой видео диагностики по МВ лица человека является высокая изменчивость поведенческих параметров, зависящая от множества внешних факторов. Первые исследования изменчивости параметров МВ от медицинских препаратов были проведены первооткрывателем МВ Рорахером и японскими исследователями в середине прошлого века. Была установлена зависимость частоты и амплитуды МВ при приеме анестетиков, транквилизаторов, релаксантов, противоэпилептических препаратов и прочих лекарственных препаратов (Рорахер, Инанага, 1969; Sugano, 1957). Во время своего заболевания COVID-19 (август 2022, преобладающий вариант вируса ВА.2.75) я постарался исследовать влияние легких немедикаментозных воздействий (чай с вареньем из черной смородины, полоскание горла содой) на МВ с помощью программы диагностики Covid5s (Минкин, Косенков, 2021), организованной по схеме, приведенной на рисунке 2. Заболевание протекало у меня в легкой, практически, бессимптомной форме, поэтому лекарственные препараты для лечения я не принимал, и если бы не регулярные тестирования программой дистанционной диагностики, показавшей высокую вероятность COVID-19, то я скорее всего не обратил бы внимания на легкую боль в горле и небольшой насморк. Но программа показывала высокий уровень вероятности COVID-19 ($P=0,7-0,99$), и я решил лечиться домашними средствами и выпить большую кружку (0,5 л) горячего чая с вареньем черной смородины. Через 5 минут после выпитого чая я снова провел самодиагностику COVID-19, и программа показала отсутствие заболевания (вероятность COVID-19 $P=0,1$). Субъективная оценка самочувствия тоже несколько улучшилась после

чая с вареньем, боль в горле прошла и насморк прекратился. Однако через час после чая самочувствие вернулось к прежнему состоянию, и программа Covid5s стала опять показывать высокую вероятность COVID-19. На следующий день я повторил исследование только внешним фактором вместо чая было полоскание горла содой (NaHCO_3). Результат был примерно аналогичным предыдущему, только разница в изменении вероятности COVID-19 была чуть менее заметна, после полоскания вероятность COVID-19 $P=0,3$ (при вероятности P ниже 0,5 результат диагностики на COVID-19 говорит об отсутствии заболевания). В этот же день я сделал ПЦР тестирование на COVID-19 и получил положительный результат. Естественно, что заболевание никуда не делось в течение часа после чая (полоскания), но программа диагностики COVID-19, созданная на основе контроля МВ, показала его отсутствие, так как параметры МВ на некоторое время после воздействия указанных факторов пришли в норму. Можно продолжить дискуссии о том, является высокая чувствительность к внешним факторам преимуществом или недостатком методов диагностики заболеваний на основе анализа МВ, но несомненным является именно высокая чувствительность МВ к внешним факторам и ее необходимо учитывать при медицинской сертификации методов. Следует отметить, что и традиционные биохимические методы ПЦР тестирования на COVID-19 содержат обширный перечень ограничений на то, что нельзя делать в течение нескольких часов до проведения тестирования (Петров и др., 2022), более того исследования показывают практически 100% ложноотрицательный результат ПЦР тестирования проводимого в течение времени до одного часа после приема горячих или алкогольных напитков. То есть, не следует считать высокую изменчивость результатов тестирования на COVID-19 от внешних факторов, присущей только методам контроля МВ, это скорее всего свойства большинства диагностических методов, каждый из которых имеет свои достоинства и ограничения. Также известен возврат положительного результата при тестировании на COVID-19 при лечении определенными лекарственными препаратами, например Paxlovid (Rubin, 2022). Баланс между нормой и заболеванием в организме человека представляет собой динамический процесс и использование технологии МВ для его исследования дает значительное преимущество над биохимическими методами тестирования, так как скорость диагностики при анализе МВ значительно выше, а стоимость меньше, чем у традиционных биохимических методов.

Отдельным вопросом ТМ являются правовые отношения (Pattynama, 2010; Stanberry, 2006; Fields, 2020), связанные в основном с передачей медицинских данных внутри страны или за границу и защитой персональных данных. Законодательства разных стран по вопросам передачи медицинских данных не синхронизированы на данный момент и вряд ли будут одинаковы в обозримом будущем. При этом интересно отметить, что передача видео данных и проведение телеконференций на текущий момент осуществляется свободно между различными странами и пока не имеет юридических ограничений. Это несомненное достоинство видео информации, которой на данный момент можно обмениваться свободно, не попадая под ограничения, дает дополнительные преимущества использованию методов анализа МВ для ТМ.

Заключение

Потоковое видео лица и головы является уникальным по информативности источником биометрической и биомедицинской информации о человеке. Развитие ИКТ в настоящее время связано именно с передачей потокового видео, следовательно использование потокового видео для получения биомедицинской информации может стать революцией в ТМ, так как позволит проводить медицинскую диагностику многих заболеваний, не прибегая к специальным и сложным медицинским технологиям и устройствам. Современные мобильные телефоны, имеющие камеры высокого разрешения, позволяют измерять микронные МВ (Rohracher, 1946) головы человека, что, как показали исследования, является необходимым и достаточным для ранней диагностики COVID-19 (Минкин, Косенков, 2021; Акимов и др., 2022). При этом разносторонняя природа МВ, вынужденная произвольность выбора COVID-19 в качестве диагностического примера из-за разрушительной пандемии и развитие диагностических методов с применением ИИ позволяют предположить возможность диагностики практически любого заболевания при анализе потокового видео головы человека.

Литература:

1. Акимов, В. А., Минкин, В. А. (2021) *Определение значимых поведенческих параметров при диагностике COVID-19 с помощью настройки искусственных нейронных сетей*, Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 4-й Международной научно-технической конференции, июнь 2021 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2021, No. 1 (4), С. 76–87. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC4.RU.06>
2. Акимов, В. А., Минкин, В. А., Седин, В. И. (2022) *Методы повышения точности диагностики COVID-19 при обработке видео микродвижений головы человека технологией виброизображения и искусственным интеллектом*, Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 5-й Международной научно-технической конференции, июнь 2022 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2022, No. 1 (5), С. 52–69. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC5.RU.04>
3. Бланк, М. А., Бланк О. А. (2010) *Хронобиомедицина для онкологии*. СПб.: Ника.
4. ВОЗ (2012). *Телемедицина. Возможности и развитие в государствах-членах*, Доклад о результатах второго глобального обследования в области электронного здравоохранения, Серия «Глобальная обсерватория по электронному здравоохранению», Т. 2.
5. Иванова, А. П. (2021) *Правовые проблемы использования искусственного интеллекта в сфере здравоохранения*. doi:10.31249/rgpravo/2021.01.16
6. Мельников, Д. С. (2006) *Физиологические основы терморегуляции при мышечной работе*. Учебно-методическое пособие. СПб.: СПбГУФК им. П. Ф. Лесгафта.
7. Минкин, В. А. (2007) *Виброизображение*. СПб.: Реноме. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.V.RU.VI.2007>
8. Минкин, В. А., Целуйко, А. В. (2014) *Практические результаты применения систем технического профайлинга для обеспечения безопасности на транспорте*, Транспортное право, 2014, No. 3.
9. Минкин, В. А. (2020) *Виброизображение, кибернетика и эмоции*. СПб.: Реноме. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.V.RU.VCE.2020>

10. Минкин, В. А., Бобров, А. Ф. (2020) *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, июнь 2020 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2020, No. 1 (3), С. 121–130. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.14.VC3.RU>
11. Минкин, В. А., Косенков, А. А. (2021) *Поведенческие параметры как симптомы COVID-19. Новые возможности и старые проблемы медицинской диагностики*, Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 4-й Международной научно-технической конференции, июнь 2021 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2021, No. 1 (4), С. 88–103. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC4.RU.08>
12. Минкин, В. А., Акимов, В. А. (2022) *Диагностика COVID-19 при 5-секундной обработке видео изображения лица человека*, Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 5-й Международной научно-технической конференции, июнь 2022 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2022, No. 1 (5), С. 7–24. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC5.RU.01>
13. Новосельцев, В. Н. (1978) *Теория управления и биосистемы*. М.: Наука.
14. Петров, А. А. и др. (2022) *Факторы, способствующие получению ложноотрицательных результатов при проведении диагностики COVID-19 методом обратной транскрипции-полимеразной цепной реакции в реальном времени*, Journal of NBC Protection Corps., 2022, Vol. 6, No. 1. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2022-6>
15. Тамар, Г. (1976) *Основы сенсорной физиологии*. М.: Мир.
16. Рорахер, Г., Инанага, К. (1969) *Микровибрация: ее биологическая функция и клинко-диагностическое значение*. Hans Huber Bern Stuttgart Wien publishing.
17. Юсупов, Р. М., Полонников, Р. И. (1998) *Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге 21 века*. СПИИРАН. М.: Анатолия.
18. Чирейкин, Л. В. и др. (1977) *Автоматический анализ электрокардиограмм*. Л.: Медицина.
19. Antunes, M. et al. (2016) *A Telemedicine Application Using WebRTC*, Conference on ENTERprise Information Systems, Procedia Computer Science, 100 (2016), pp. 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.177>
20. Cannon, W. B. (1932) *The Wisdom of the Body*. New York: W. W. Norton.
21. Einthoven, W. Le (1906) *Télécardiogramme [The telecardiogram]*. Archives Internationales de Physiologie, 1906, 4, pp. 132–164.
22. Gladyshev, G. P. (2014) *The Hierarchical Equilibrium Thermodynamics of Living Systems in Action*. N. N. Semenov Institute of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences Russia, Moscow.
23. Haescher, M. et al. (2015) *A Study on Measuring Heart- and Respiration-Rate via Wrist-Worn Accelerometer-based Seismocardiography (SCG) in Comparison to Commonly Applied Technologies*, Conference: iWOAR 2015 — 2nd international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction. doi:10.1145/2790044.2790054
24. Fields, B. G. (2020) *Regulatory, Legal, and Ethical Considerations of Telemedicine*. Sleep Med Clin, 15 (2020), pp. 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2020.06.004>
25. Friedman, A. B. et al. (2022) *Telemedicine Catches On: Changes in the Utilization of Telemedicine Services During the COVID-19 Pandemic*, Am J Manag Care, 2022, 28 (1).
26. Jin, B. et al. (2020) *Research on Diagnosing Parkinson's Disease through Facial Expression Recognition*, Journal of Medical Internet Research, March 12, 2020.
27. Inanaga, K., Sugano, H. (1958) *Microvibration of the Brain*. Folia Psychiatrica et Neurologica Japonica, 1958, Vol. 12, No. 3.
28. Kichloo, A. et al. (2020) *Telemedicine, the Current COVID-19 Pandemic and the Future: a Narrative Review and Perspectives Moving Forward in the USA*. Fam Med Com Health? 2020, 8. doi:10.1136/fmch-2020-000530

29. Mahajan, V. et al. (2020) *Using Telemedicine During the COVID-19 Pandemic*, Indidan Pediatrics, 2020, Vol. 57, July 15.
30. 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. <https://doi.org/10.1007/s10527-008-9045-9>
31. Minkin, V. A. et al. (2020) *COVID-19 Diagnosis by Artificial Intelligence Based on Vibraimage Measurement of Behavioral Parameters*, Journal of Behavioral and Brain Science, 10, pp. 590–603. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2020.1012037>
32. Mohri, K. et al. (2010) *Sensing of Human Micro-vibration Transmitted Along Solid Using Pico-Tesla Magneto-impedance Sensor (pT-MI Sensor)*, Piers online, 2010, Vol. 6, No. 2.
33. Ouyang, et al. (2020) *Video-based AI for Beat-to-Beat Assessment of Cardiac Function*, Nature, 2020, April, 580 (7802), pp. 252–256. doi:10.1038/s41586-020-2145-8
34. Pattynama, P. M. (2010) *Legal Aspects of Cross-Border Teleradiology*, European Journal of Radiology, 2010, 73 (1), pp. 26–30.
35. Portnoy et al. (2020) *Telemedicine in the Era of COVID-19*, J Allergy Clin Immunol Pract 2020, 8, pp. 1489–91. American Academy of Allergy, Asthma & Immunology. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.03.008>
36. Rohracher, H. (1946) *Schwingungen des Menschlichen Organismus*, Anz. d. Wissensch., 1946, Vol. 3, p. 230.
37. Rubin, R. (2022) *From Positive to Negative to Positive Again — The Mystery of Why COVID-19 Rebounds in Some Patients Who Take Paxlovid*, Jama, 2022, 327 (24), pp. 2380–2382. doi:10.1001/jama.2022.9925
38. Qiang, J. et al. (2022) *Review on Facial-Recognition-Based Applications in Disease Diagnosis*, Bioengineering, 2022, 9, p. 273. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9070273>
39. Stanberry, B. (2006) *Legal and Ethical Aspects of Telemedicine*, Journal of Telemedicine and Telecare, 12 (4), pp. 166–175.
40. Strehle, E. M., Shabde, N. (2006) *One Hundred Years of Telemedicine: Does This New Technology have a Place in Paediatrics?* Archives of Disease in Childhood, 2006, 91 (12), pp. 956–959.
41. Sugano, H. (1957) *Studies on the Microvibration*, The kurume medical journal, 1957, Vol. 4, No. 2.
42. Verkruysse et al., (2008) *Remote plethysmographic imaging using ambient light*, Opt Express. 2008 December 22, 16 (26), pp. 21434–21445.
43. Viejo, C. G. et al. (2018) *Non-Contact Heart Rate and Blood Pressure Estimations from Video Analysis and Machine Learning Modelling Applied to Food Sensory Responses: A Case Study for Chocolate*, Sensors, 2018, 18, p. 1802. doi:10.3390/s18061802
44. WHO (1998) *A Health Telematics Policy in Support of WHO's Health-For-All Strategy for Global Health Development*, report of the WHO group consultation on health telematics, 1997, 11–16 December, Geneva. Geneva: World Health Organization.
45. Wu, H.-Y., Rubinstein, M.; Shih, E. et al. (2012) *Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World*, Association for Computing Machinery: New York, NY, USA.
46. Yoshi et al. (1963) *Frequency Analysis of "Minor Tremor" on the Body Surface*, Folia Psychiatr Neurol Jpn, 1963 Dec, 17, pp. 287–98. doi:10.1111/j.14401819.1963.tb00697.x