

УДК 159.91

А.Ф. Бобров¹, В.А. Минкин², В.Ю. Щебланов¹, Е.С. Щелканова³

БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (обзор литературы)

¹ ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Живописная ул., 46, Москва, Россия, 123182

² ООО Многопрофильное предприятие «ЭЛСИС», пр. М. Тореза 68, Санкт-Петербург, Россия, 194223

³ Центр по обращению с РАО-отделение гб. Андреева СЗЦ «СевРАО»- филиала ФГУП «РосРАО», ул. Чумаченко 10, г. Заозерск Мурманской области, Россия, 183017

Представлен анализ методов бесконтактной диагностики, перспективных для использования при оценке психофизиологического состояния лиц, работающих в условиях воздействия ионизирующего излучения. Рассматривается широкий спектр инновационных технологий, способных дистанционно регистрировать физические явления в организме (состояние кровотока в сосудистой сети, колебательные характеристики тела или его отдельных участков). Обсуждаются преимущества и ограничения различных методов бесконтактной диагностики при их использовании в медицине труда.

Ключевые слова: медицина труда, медицинские осмотры, психофизиологическое обследование, психофизиологическое состояние, бесконтактные технологии, ИК термография, доплерография, 3D сенсоры, параметры виброизображения.

A.F. Bobrov¹, V.A. Minkin², V.Yu. Shcheblanov¹, E.S. Shchelkanova³. **Noncontacting diagnosis of psychophysical state in individuals working under exposure to ionizing radiation (review of literature)**

¹ State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 46, Zhivopisnaya str., Moscow, Russia, 123182

² «ELSYS» Multi-functional Company, 68, M. Torez avenue, Saint-Petersburg, Russia, 194223

³ Andreeva Bay NWC SevRAO Facility — Center for Radioactive Waste Management under RosRAO Enterprise, 1., Chumachenko Street, Zaozersk, Murmansk region, Russia, 183017

The authors analysed methods of noncontacting diagnosis, promising for use to evaluate psychophysiological state of individuals working under exposure to ionizing radiation. The article covers wide spectrum of innovation technologies for distant registration of physical events in human body (vascular flow, fluctuation characteristics of whole body and its single parts). Advantages and drawbacks of various distant diagnostic methods are discussed for their use in occupational medicine.

Key words: occupational medicine, medical examinations, psychophysiological examination, psychophysiological state, noncontacting techniques, infrared thermography, dopplerography, 3D sensors, video image parameters.

Сохранение здоровья работающего населения — приоритетное направление государственной политики в области трудовых отношений, охраны труда и обеспечения работодателем здоровых и безопасных условий труда, профилактики профессиональной заболеваемости, поскольку с трудоспособным населением связан экономический подъем государства [7].

В соответствии с Федеральным законом от 8 марта 2011 г. №35-ФЗ составной частью медицинских осмотров работников предприятий атомной отрасли являются обязательные психофизиологические обследования (ПФО), проведение которых возложено на медицинские организации ФМБА России, обслуживающие эти предприятия.

Основной целью ПФО работников атомной отрасли является выявление психофизиологических

отклонений, которые могут свидетельствовать о наличии противопоказаний для продолжения работы, связанной с воздействием вредных и (или) опасных производственных факторов.

Такая цель может достигаться, если психофизиологические отклонения (противопоказания), которые выявляются с помощью психологических, психофизиологических и физиологических методик, рассматривать как результат системных характеристик реакций организма на факторы жизнедеятельности, ведущей из которых является уровень психофизиологической адаптации (ПФА) работника. В работе [2] научно обоснована системная оценка результатов психофизиологических обследований для выявления у работников ГК «Росатом» в ходе проведения предварительных, периодических и предсменных медицинских осмотров.

Однако время проведения психофизиологических обследований занимает в среднем 2 часа и требует наладывания регистрирующих датчиков.

Поэтому дальнейшее развитие ПФО связано с использованием бесконтактных технологий, позволяющих оперативно выделять лиц с нарушениями ПФА для своевременного применения реабилитационно-оздоровительных мероприятий.

Анализ литературных источников показывает, что для бесконтактной диагностики психофизиологического состояния (ПФС) могут быть использованы технологии, способные дистанционно регистрировать физические явления в организме. К ним, в частности, относятся состояние кровотока в сосудистой сети (артериях и венах, лимфатической системе) и колебательные характеристики тела или его отдельных участков.

Дистанционно состояние кровотока может быть оценено с использованием инфракрасных (ИК) и доплеровских приборов.

В ИК тепловизоре распределение температуры в различных частях тела человека визуализируется в виде термограммы. Многие патологические процессы меняют нормальное распределение температуры на поверхности тела, причем во многих случаях изменения температуры опережают другие клинические проявления, что очень важно для ранней диагностики и своевременного лечения. Поэтому тепловизоры широко используются в основном в клинической практике [8].

Тем не менее, существуют исследования по использованию ИК термографии для дистанционной оценки ПФС человека. Так в работе [1] установлена зависимость теплового излучения с правой и левой височной области человека при выполнении различных видов умственной деятельности. В.Г. Демиденко [6] получены критерии оценки психофизиологического состояния человека по данным температуры височной области человека. В развитии этого направления предложен способ оценки ПФС по температуре в нескольких зонах: глазных впадинах, в части лба, подбородке, ушных раковинах [11]. Относительно полный набор тепловизионных методов психофизиологических исследований описан в работе [18].

Доплерография, как и ИК термография, также широко применяется в основном в клинической практике. Однако известны попытки ее использования и для идентификации ПФС путем дистанционной регистрации перемещений кожного покрова с использованием доплеровского локатора [12,19,20]. Показано, что микроперемещения обусловлены комбинированным воздействием кровотока и дыхания, а также перемещениями исследуемого участка тела. Это дает возможность дистанционно оценить частоту сердечных сокращений и характеристики пневмограммы.

В последнее время появился ряд работ, посвященных психофизиологической информативности отраженного от тела человека высокочастотного электромагнитного сигнала в стандартном диапазоне WiFi

сигнала 2,4 ГГц [21]. Несмотря на достаточно сложную и в настоящее время мало изученную физику взаимодействия высокочастотных электромагнитных волн с телом человека, указанная технология позволяет достаточно просто выявлять динамические изменения периодических физиологических процессов, таких как протекание пульсовых волн, и определять частоту дыхания.

В целом можно отметить, что оценка ПФС по дистанционной регистрации физических явлений в организме не получила к настоящему времени реализации в устройствах, широко доступных для использования в практике психофизиологических обследований. Поэтому более перспективными для бесконтактной оценки ПФС являются методы, связанные с оценкой колебательных характеристик тела или его отдельных участков: оценкой движения.

Долгое время основными методами оценки движения в прикладных психофизиологических исследованиях являлись стабилотография и треморометрия, относящиеся к контактному методу.

Стабилотография — графическая регистрация колебаний центра тяжести тела в положении стоя [15]. Суть методов стабилотографических исследований сводится к оценке биомеханических показателей человека в процессе поддержания им вертикальной позы. Удержание равновесия человеком является динамическим феноменом, требующим непрерывного движения тела, которое является результатом взаимодействия вестибулярного и зрительного анализаторов, суставно-мышечной проприорецепции, центральной и периферической нервной системы.

Достоинствами компьютерной стабилотографии являются комфортность и оперативность обследования, возможность оценивать общее состояние человека. Как психофизиологический метод стабилотография наибольшее применение получила в авиакосмической и спортивной медицине.

Тремор — быстрые, ритмичные движения конечностей или туловища. При утомлении и сильных эмоциях, а также при патологии центральной нервной системы тремор существенно усиливается. Тремография позволяет в комплексе с другими данными подойти к оценке эмоционального состояния, составить суждение об утомлении, наблюдать за динамикой функционального состояния.

К наиболее широко используемым в настоящее время методам бесконтактной оценки движения относится окулография.

Окулография (отслеживание глаз, трекинг глаз; айтрекинг) — определение координат взора (точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости наблюдаемого объекта или экрана, на котором предъявляется некоторый зрительный раздражитель).

Все айтрекеры можно условно разделить на два типа — надеваемые и дистанционные [16].

Айтрекеры первого типа надеваются на голову респондента и имеют вид специальных очков либо

«рамки на шапочке». Их конструкция состоит из мини-видеокамеры, фиксирующей обстановку перед респондентом, а также источника инфракрасного излучения, которое через оптические световоды подводится к глазам человека, а отраженный от них блик «замешивается» в сигнал от видеокамеры.

Дистанционные айтрекеры внешне имеют вид отдельных блоков, располагаемых перед обследуемым. Конструктивно эти айтрекеры состоят из двух видеокамер с источниками инфракрасной подсветки, фиксирующих световые блики, отраженные от глаз респондента. Другим конструктивным вариантом дистанционных айтрекеров является расположение нескольких отдельных видеокамер с инфракрасными источниками перед человеком для максимального увеличения возможностей регистрации движений глаз при перемещении в рабочем пространстве. При этом число видеокамер может меняться от двух до восьми.

Айтрекеры активно разрабатываются для оценки психофизиологического состояния водителей и машинистов [5]. Для данного контингента также используются устройства дистанционной регистрации микрокряконов головы.

Разработка 3D сенсоров открыла новые возможности анализа движения. Современные сенсоры включают в набор многопрофильных камер, датчиков и направленных стереомикрофонов, позволяющих синхронно снимать видеоизображение в обычном виде (формат FullHD), в инфракрасном диапазоне (три разделенных сенсора) и в режиме времяпролетной камеры (удаленность объекта от камеры). Их программное обеспечение включает в себя поддержку отслеживания живого объекта, которое использует данные облака точек от сенсоров для построения математической модели человеческого тела. Модель обновляется в режиме реального времени. Эта технология делает возможным распознавание жестов, а также отслеживание всего тела.

Публикации, описывающие результаты использования 3D сенсоров при дистанционной оценке ПФС, весьма немногочисленны. Можно сослаться на исследования, проводимые в НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного федерального университета (http://www.krinc.ru/index.php?sec=news&id_news=115), и работу, связанную с созданием методики дистанционного определения психофизиологического состояния и самооценки спортсменов-стрелков высшей квалификации [17], выполненную по заказу ФМБА России. В ней дистанционно регистрируемыми показателями психофизиологического состояния являлись частота сердечных сокращений, дыхание и тремор кисти.

Пульс оценивался при помощи анализа когерентных колебаний цветности инфракрасного изображения в 4-х точках на лице и по двум точкам на руках. Дыхание определялось по спектр-картинке времени пролетной и инфракрасной камер с помощью измерения колебаний объема, занимаемого телом спортсме-

на. Тремор руки регистрировался через геометрические высокочастотные колебания фокусной точки на запястье стрелка.

В целом можно отметить, что устройства бесконтактной оценки ПФС человека с использованием 3D сенсоров реализованы в виде макетных образцов и не имеют коммерческого распространения. Единственными устройствами, доступными для практического использования, являются устройства, оценивающие ПФС на основе технологии виброизображения: параметров рефлекторных движений головы и лица человека [9,14].

Поддержание вертикального равновесия головы человека, осуществляемое с участием вестибулярной системы, может рассматриваться как функция, характеризующая вестибулярный рефлекс, и, одновременно, как частный случай двигательной активности, характеризующийся микродвижениями головы. Данное явление получило название вестибулярно-эмоциональный рефлекс (ВЭР), так как практически связывает параметры движения головы человека и его психоэмоциональное состояние [9].

Анализ траектории движения головы своей физиологической основой существенно отличается от анализа эмоций человека на основе мимики лица, хорошо отражает яркие и локальные проявления эмоций, однако малоэффективен при проведении автоматизированного анализа эмоций, так как не является постоянным физиологическим процессом. Временные и пространственные параметры микродвижений головы имеет корреляты в любых изменениях эмоций и психофизиологического состояния.

Рассматривая практические области применения технологии виброизображения, следует отметить, что она является одной из самых известных технологий безопасности в мире [3,4,10] и используется службами безопасности различных государств для проведения детекции лжи и выявления потенциально опасных и террористически настроенных людей на различных объектах и мероприятиях. Технология виброизображения защищена пятью патентами РФ, патентами США и Кореи. С помощью систем виброизображения осуществлялся 100% контроль психоэмоционального состояния посетителей Олимпийских игр в Сочи [10]. Проведенные исследования по применению технологии виброизображения для диагностики онкологии простаты [13] позволяют предположить, что данная технология может быть использована для диагностики широкого ряда патологий и заболеваний за счет функциональной связи контролируемой вестибулярной системы с другими физиологическими системами организма человека.

Выводы:

1. Разработка методов оценки ПФС работающих лиц с использованием инновационных бесконтактных технологий является актуальной задачей медицины труда. Их применение позволит снизить трудоемкость и время

проведения ПФО, повысить его качество. Наиболее перспективными являются технологии, в основе которых лежит оценка движения тела и его отдельных частей. При этом приоритетными являются технологии, не использующие в процессе оценки ПФС активное воздействие на человека ИК излучение, ультразвуковые сигналы (пассивные технологии). Это особенно важно при динамическом контроле ПФС в ходе выполнения деятельности, поскольку эффект длительного воздействия даже сверхмалых доз внешнего воздействия на человека должен изучаться специально.

2. Существующие методы дистанционной регистрации физиологических параметров (пульса, дыхания) нуждаются в совершенствовании. Так, недостаточно иметь оценку средней частоты сердечных сокращений человека, а необходимо с высокой точностью выделять текущие значения RR интервалов, чтобы иметь возможность в полном объеме при оценке ПФС использовать математический аппарат оценки variability сердечного ритма.

3. Методом бесконтактной оценки ПФС, доступным в настоящее время для практического использования в задачах медицины труда, является пассивная технология анализа виброизображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (СМ. REFERENCES ПП. 18–21)

1. Ананьев Е.Г. Интеллектуальная деятельность и терморегуляция / Е.Г. Ананьев // Возрастная психология взрослых: материалы конф. — Л., 1971. — Вып. 3. — С. 91–97.

2. Бобров А.Ф., Бушманов А.Ю., Седин В.И., Щербанов В.Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований // Медицина экстремальных ситуаций. — 2015. — №3. — С. 13–19

3. Бобров А.Ф., Минкин В.А., Щербанов В.Ю. Бесконтактная диагностика психофизиологического состояния в практике медицинских обследований работников предприятий ГК «Росатом» // Медицина экстремальных ситуаций» — 2016. — №4. — С. 85–93.

4. Бобров А.Ф., Минкин В.А., Щербанов В.Ю., Щелканова Е.С. Бесконтактная диагностика психофизиологического состояния в тренажерной подготовке лиц опасных профессий // Медицина катастроф. — 2016. — № 4(96). — С. 55–59; Москва ВЦМК «Защита».

5. Венерина О.В., Ермолаев В.В., Мельникова Д.В. Четверикова А.И. Применение метода айтрекинга для оценки психических состояний водителей: http://mggush.ru/sites/default/files/venerina_ermolaev_melnikova_chetverikova_0.pdf.

6. Демиденко В.Г., Круглова Л.В. // тезисы докладов 51-й научной сессии РНТОРЭС им. А.С. Попова. — М. — 1996. — ч. II. — С. 67–68

7. Измеров Н.Ф., Прокопенко Л.В., Симонова Н.И. и др. // Актуальные проблемы медицины труда: сб. тр. ин-та / под.

ред. акад. РАМН Н.Ф. Измерова. — М.: Рейнфор, 2009. — С. 11–21.

8. Мельников Г.С., Самков В.М., Солдатов Ю.И., Коротаев В.В. // Тепловидение в медицине и промышленности. Материалы 9-ой межд. конф. «Прикладная оптика — 2010». СПб. 18–22 окт. 2010 г. — СПб, 2010. — С. 11–17.

9. Минкин В.А. Виброизображение. — СПб.: Реноме, 2007. — 108 с.

10. Минкин В. А., Целуйко А.В. Практические результаты применения систем технического профайлинга для обеспечения безопасности на транспорте // Транспортное право. — 2014. — №3. — С. 27–32.

11. Патент 2302705 РФ, МПК H04N5 / 33, G01C11 / 26, G07C11 / 00, A61B5 / 04, G06K9 / 62. Способ оперативного дистанционного бесконтактного контроля психологического состояния людей и система, реализующая этот способ / Виленчик Л.С. и др.; патентообладатель Московское конструкторское бюро «Электрон». — № 2002109187/09; заявл. 10.04.2002, опубл. 10.07.2007, Бюлл. №19.

12. Патент 245979 СССР, МПК А61В8 / 00. Устройство для звуковой кардиографии с использованием эффекта Доплера / Козлов А.Н. и др.; № 1238827/31- 16, заявл. 15.04.1968, опубл. 01.01.1969, Бюлл. № 20.

13. Патент RU 2515149. В.А. Минкин, М.А. Бланк, О.А. Бланк. Способ скрининг-диагностики рака простаты, приоритет от 06.02.2012.

14. Система контроля психоэмоционального состояния человека. Версия 8.1. Многопрофильное Предприятие «ЭЛСИС». http://www.psymaker.com/downloads/VI8_1ManualRus.pdf. май, 2016.

15. Слива С.С. Уровень развития и возможности отечественной компьютерной стабильности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2002. — № 5(28). — С. 73–81

16. Современные айтрекеры и их возможности для юзабилити-тестирования: <http://usabilitylab.ru/blog/eye-trackers-ih-vozmozhnosti-2>.

17. Создание методики дистанционного определения психофизиологического состояния и самооценки спортсменов-стрелков высшей квалификации (шифр: «Наставник–14»). ООО «Аналитика». // Отчет о НИР. 2014. 143 с. УДК 61:796/799, № госрегистрации: 114082640019.

REFERENCES

1. Anan'ev E.G. Intellectual activities and thermoregulation / In: E.G. Anan'ev // Age-related adult psychology: materials of conference. — Leningrad, 1971. — issue 3. — P. 91–97 (in Russian).

2. Bobrov A.F., Bushmanov A.Yu., Sedin V.I., Shcheblanov V.Yu. Systemic evaluation of psychophysiological studies results // Meditsina ekstremal'nykh situatsiy. — 2015. — 3. — P. 13–19 (in Russian).

3. Bobrov A.F., Minkin V.A., Shcheblanov V.Yu. Noncontacting diagnosis of psychophysiological state in practice of medical examinations of workers engaged into GK «Rosatom» // Meditsina ekstremal'nykh situatsiy. — 2016. — 4. — P. 85–93 (in Russian).

4. Bobrov A.F., Minkin V.A., Shcheblanov V.Yu., Shchelkanova E.S. Noncontacting diagnosis of psychophysiological state in training of dangerous occupations specialists // *Meditsina katastrof.* — 2016. — 4(96). — P. 55–59; Moskva VTsMK «Zashchita» (in Russian).
5. Venerina O.V., Ermolaev V.V., Mel'nikova D.V., Chetverikova A.I. Using eye-tracking for evaluation of drivers' mental states: http://mggush.ru/sites/default/files/venerina_ermolaev_melnikova_chetverikova_0.pdf (in Russian).
6. Demidenko V.G., Kruglova L.V. Report summaries of 51th scientific session of RNTORES im. A.S. Popova. — Moscow, 1996. — II. — P. 67–68 (in Russian).
7. N.F. Izmerov, academician RAMSс, ed. Topical problems of occupational medicine, collection of the Institute papers. Izmerov N.F., Prokopenko L.V., Simonova N.I., et al. — Moscow: Reinfor, 2009. — P. 11–21 (in Russian).
8. Mel'nikov G.S., Samkov V.M., Soldatov Yu.I., Korotaev V.V. Thermal imaging in medicine and industry / Materials of 9th international conference «Applied optics — 2010». — St-Petersburg 18–22 October 2010. — St-Petersburg, 2010. — P. 11–17 (in Russian).
9. Minkin V.A. Vibro imaging. St-Petersburg: Renome, 2007. — 108 p. (in Russian).
10. Minkin V. A., Tseluyko A.V. Practical results of technical profiling systems for transport safety // *Transportnoe pravo.* — 2014. — 3. — P. 27–32 (in Russian).
11. Patent 2302705 RF, MPK N04N5 / 33, G01C11 / 26, G07C11 / 00, A61B5 / 04, G06K9 / 62. Method of operative distant noncontacting control of human mental state and system actualizing this method. Vilenchik L.S., et al; patent-holder Moscow construction bureau «Electron». N 2002109187/09, report on 10/04/2002, published on 10/07/2007; bul 19 (in Russian).
12. Patent 245979 USSR, MPK A61B8 / 00. Device for sound cardiography with doppler-effect. Kozlov A.N., et al. N 1238827/31–16, report on 15/04/1968, published 01/01/1969; bul 20 (in Russian).
13. Patent RU 2515149. V.A. Minkin, M.A. Blank, O.A. Blank. Method of screening diagnosis of prostatic cancer, priority on 06/02/2012 (in Russian).
14. System of control for human psychoemotional state. Version 8.1. Multi-profile enterprise «ELSYS». http://www.psymaker.com/downloads/VI8_1ManualRus.pdf. May 2016 (in Russian)
15. Sliva S.S. Level and possibilities of national computer stabilography // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* — 2002. — 5 (28) . — P. 73–81 (in Russian).
16. Contemporary eye-trackers and their possibilities for usability-testing: <http://usabilitylab.ru/blog/eye-trackers-i-ih-vozmozhnosti-2>. (in Russian).
17. Creation of a method for distant assessment of psychophysiological state and self-assessment of sportsmen high-quality shooters (code «Trainer-14»). ООО Analytica. Report of NIR. — 2014. — 143 p. UDK 61: 796/799 N 114082640019 (in Russian).
18. Ioannou S., Gallese V., Merla A. Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits. // *Psychophysiology.* 2014 Oct; 51(10): 951–963. Published online 2014 Jun 24. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4286005/>
19. Shoich I. Three-dimensional jamming measuring apparatus // Japanese Patent JP06058969, 03.04.1994.
20. Sneath T.H., Dewitville, N.Y. Filing system // Patent USA №4133444, Jan. 9, 1979.
21. Zhao M., Adib F., Katabi D. Emotion Recognition using Wireless Signals. Massachusetts Institute of Technology, <http://equadio.csail.mit.edu/files/equadio-paper.pdf>.

Поступила 20.03.2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Бобров Александр Федорович (Bobrov S.A.),
г. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, д-р биол. наук, проф. E-mail: baf-vcmk@mail.ru.
- Минкин Виктор Альбертович (Minkin V.A.),
зам. дир. ООО «Многопрофильное предприятие «Эл-сис». E-mail: minkin@elsys.ru.
- Щебланов Виктор Ювенолиевич (Shcheblanov V.Yu.),
зав. лаб. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, д-р биол. наук, проф. E-mail: 60k1234@mail.ru.
- Щелканова Елена Сергеевна (Shchelkanova E.S.)
нач. участка контроля внешней среды Центра по обращению с РАО-отд. г.б. Андреева СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «РосРАО». E-mail: shchelkanova_el@mail.ru.