

И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Российская Федерация

Информатизация программ персонализированной адаптационной медицины

Изложено состояние информатизации персонализированных программ мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека как одного из приоритетных направлений персонализированной (индивидуализированной, персонализированной) медицины, ориентированной на раскрытие потенциальных и адаптационных возможностей организма человека и увеличение продолжительности его активной жизни с помощью направленного пациентассоциированного лечебно-диагностического воздействия на основе учета влияний генетических, внешне-средовых и региональных факторов. Описаны медико-биологические концепции, составляющие основу реализации мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека, которые разработаны специалистами в области авиационно-космической медицины и являются базовыми для персонализированной нелекарственной медицины: профессиональное здоровье, профилактическая каскадная концепция изменения здоровья, концепция синдромосходных состояний, биологический возраст, концепция качества жизни, связанного со здоровьем, концепция математического обеспечения рискометрии здоровья, информационно-телекоммуникационные технологии мониторинга состояния человека, информационные технологии паспортизации здоровья. Дана характеристика современного этапа развития персонализированной нелекарственной медицины.

124

Ключевые слова: персонализированная медицина, адаптационная физиология и медицина, информатизация здравоохранения. (Вестник РАМН. 2014; 5–6: 124–128)

Глобализация экономики, развитие науки и технологий, достижения в области медицины, биологии и информационно-телекоммуникационных технологий, сделанные за последние 20 лет, открыли новые горизонты развития персонализированной медицины. Персонализированная (индивидуализированная, персонализированная) медицина — это направление современной медицины, ориентированное на раскрытие потенциальных и адаптационных возможностей организма человека и увеличение продолжительности его активной жизни с помощью направленного пациентассоциированного лечебно-диагностического воздействия на основе учета влияний генетических, внешне-средовых и региональных факторов (адапт. по [1]).

Одним из приоритетных направлений развития персонализированной медицины является разработка информационных систем персонализации программ

нелекарственной профилактики, мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека [2, 3]. Адаптационные возможности человека характеризуют его способность адекватно реагировать на комплексы неблагоприятных факторов и динамику их показателей, экономно затрачивая функциональные резервы и не приводя организм к донозологическим и преморбидным состояниям.

Для реализации информационных систем персонализации программ нелекарственной профилактики, мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека необходимо объединить возможности информационно-телекоммуникационных технологий и достижения медицинской науки. В настоящее время доступ к Интернету имеет более 55% населения Российской Федерации (более 65 млн человек), причем свыше 1 млн пользователей выходят в Интернет исключительно

I.B. Ushakov, A.V. Bogomolov

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Informatization of Personalized Adaptation Medicine Programs

State of art of personalized monitoring programs informatization and improvement of human adaptation abilities as one of the preferred direction of personalized (individualized, personalized) medicine which is focused on disclosure of potential and adaptive capabilities of human body and increase of life expectancy by means of directed patient-associated diagnostic and treatment effects on the basis of genetic influences of exogenous and regional factors are described. Biomedical concepts which are the background of monitoring and improvement of the implementation of human adaptation abilities that are designed by experts in the field of aerospace medicine and are the foundation of personalized non-drug medicine are defined: occupational health, preventive health changes cascade concept, concept of similar conditions, biological age, health-related quality of life concept, software risk-metric health information concept and telecommunication technologies for monitoring of human health information technology certification. The characteristics of the present stage of development of personalized non-drug medicine are issued.

Key words: personalized medicine, adaptation physiology and medicine, healthcare informatization

(Vestnik Rossiiskoi Akademii Meditsinskikh Nauk — Annals of the Russian Academy of Medical Sciences. 2014; 5–6: 124–128)

с мобильных устройств [4]. При этом медицинские технологии, позволяющие использовать возможности информационно-телекоммуникационных технологий в интересах решения задач персонализированной медицины, развиты недостаточно [3].

Необходимость реализации индивидуального пациентассоциированного подхода к здоровью человека не вызывает сомнений уже на протяжении нескольких столетий. Однако насущная потребность в разработке персонализированных программ нелекарственной профилактики, мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека исторически впервые возникла в авиакосмической, экстремальной и военной медицине: начиная с 50-х годов XX в. успешно реализуются технологии персонализированного мониторинга здоровья представителей ряда опасных профессий, и в первую очередь космонавтов.

Базовые медико-биологические концепции нелекарственной профилактики, мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека

За последние 60 лет специалистами в области авиакосмической, экстремальной и военной медицины разработано большое число информационных систем медицинского назначения, позволивших реализовать технологии учета индивидуальных особенностей здоровья, сохранения функциональных резервов организма, обеспечения функционального оптимума и продления профессионального долголетия, т.е. решить ряд прикладных задач персонализированной медицины применительно к узкой социо-профессиональной группе населения. И, что немаловажно, по ряду направлений удалось, говоря современным языком, обеспечить трансферт разработанных технологий в «гражданское» здравоохранение. К числу наиболее важных результатов, составляющих основу реализации мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека, следует отнести следующие восемь.

- **Профессиональное здоровье** как характеристика генетически детерминированного и эволюционного процесса нормально протекающего биологического старения человека в конкретной социально-экономической формации. Концепция профессионального здоровья имеет гуманистический характер и акцентирована на обеспечение надежной профессиональной деятельности, высокого уровня здоровья и долголетия индивида [5–7].
Обеспечение высокого уровня профессионального здоровья обуславливает необходимость использования информационных технологий сбора, хранения, обработки и представления информации, его характеризующей, а также создание системы восстановительной медицины, реализующей, помимо традиционных методов лечения, технологии управления компенсаторными свойствами и резервами организма.
Эти решения нашли широкое применение в клинической практике, при массовых медицинских обследованиях населения в специальных передвижных лабораториях (система «Автосан») и в сочетании с оценкой экологической обстановки в различных регионах и на предприятиях (система «Экосан») [8, 9]. При проведении таких обследований широко используют набор медицинской аппаратуры, создан-

ной для медико-биологических исследований в космосе. В исследованиях последних 20 лет показано, что система восстановительных и лечебно-оздоровительных мероприятий, реализованная на базе концепции «здоровье здоровых» позволяет в 1,7 раза снизить общую заболеваемость, в 1,6 раза повысить надежность профессиональной деятельности и продлить профессиональное долголетие на 20–30% [7, 8].

- **Профилактическая каскадная концепция изменения здоровья**, отличительной чертой которой является реализация дозового рискометрического подхода к действию факторов риска здоровью и соответствующая классификация направлений его обеспечения от медицинского и профессионального отбора до восстановления и реабилитации [10].

Риск здоровью является функцией дозы неблагоприятных воздействий, снижение которой происходит за счет включения звеньев его изменения. Каскадная схема позволяет с единых методических позиций прогнозировать риски здоровью и принимать усилия по их снижению, осуществлять мероприятия по профилактике развития донозологических состояний. На основе каскадной схемы можно реализовать важнейшие для персонализированной медицины технологии планирования затрат с точки зрения полезности того или иного медицинского вмешательства для изменения качества, продолжительности жизни и «витальной» потребности индивида.

Под полезностью общественных и личных затрат для охраны здоровья в этом контексте понимаются предпочтения определенных состояний здоровья или способов лечения в отношении конкретных врачебных исходов, выражаемые разными индивидами [11].

Важнейшим практическим примером реализации исследований в этом направлении является разработка и утверждение нормативных документов, позволивших обосновать право представителей ряда социо-профессиональных групп специалистов на повышенное и досрочное пенсионное обеспечение в связи с риском утраты трудоспособности вследствие влияния опасных, вредных и напряженных условий труда [12].

- **Концепция синдромосходных состояний**, основанная на результатах, подтверждающих, что изменение здоровья сопровождается синдромосходным комплексом изменений на молекулярно-клеточном и тканевом уровне [10]. Важнейшим методологическим положением концепции является то обстоятельство, что более острому повреждающему воздействию соответствует более острая ответная реакция организма. Учитывается неспецифичность большинства синдромов, под которыми понимают стандартные, однотипные, гомеостатические и адаптационные реакции организма на различные в качественном и количественном отношении воздействия. Рассматриваемое логическое «дерево анализа» факторов риска и их синдромосходных моделей состоит из нескольких уровней: механизмы, симптомы и комплексы (симптомы и синдромы расстройств), изменения здоровья и, наконец, экстраполяция по принципу «модель – фактор» [7, 10, 12].

Для синтеза математического обеспечения информационных систем синдромной диагностики разработана технология, основанная на теории нечетких множеств [13]. Она позволяет получать решающие правила синдромной диагностики, устойчивые как к неточности знания, заключенного в решающем

правиле, так и к неточности, связанной с возможной вариабельностью характеристик состояния человека. За счет этого обеспечивается высокое качество синдромной диагностики, позволившее в т.ч. реализовать персонифицированные программы профилактики и повышения адаптационных возможностей человека [11, 13].

- **Биологический возраст**, в понятии которого возрастные изменения физиологических систем конкретного организма сопоставляются со средними популяционными изменениями [7, 14, 15]. Фиксируя изменения организма человека «постфактум», концепция биологического возраста имеет ограничения прогностических возможностей, но на ее основе возможна разработка стратегии коррекции наиболее вероятных или уже наступивших неблагоприятных для человека изменений при учете максимального числа факторов, влияющих на его здоровье.

К концепции биологического возраста вплотную примыкает концепция функциональных (психофизиологических) резервов организма человека, характеризующих диапазон возможных уровней изменений функциональной активности физиологических систем организма, который может быть обеспечен его активационными механизмами [7, 9, 10, 12].

На основе этих концепций реализованы информационные технологии активационной терапии, применяемые для коррекции преморбидных состояний в ориентации на антистрессорные реакции. К числу известных результатов относятся [8, 9, 11, 12]:

- электромиостимуляторы для стимуляции различных мышц, которые способствуют сохранению их силовых и скоростных характеристик, повышают статическую и динамическую выносливость;
- аппаратуру диагностики, лечения и восстановления нарушений кардиореспираторной системы («Варикард», «Аргумент», «Полином», «Чибис»);
- портативные комплексы: «Пульс» (для анализа состояния вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы), «Карди-2» (для анализа риска развития ишемии миокарда и аритмий), «Пневмокард» (для исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы), устройство «Резерв» (для экспресс-оценки функционального состояния и резервных возможностей организма).

- **Концепция качества жизни, связанного со здоровьем**, как интегральная характеристика физического, эмоционального, психологического и социального функционирования человека, основанная на его субъективной оценке, позволяющая дать многоплановый анализ важнейших составляющих здоровья человека в соответствии с критериями экспертов Всемирной организации здравоохранения [9–12].

Этот подход эффективно реализован в автоматизированных информационных системах исследования качества жизни у ликвидаторов последствий радиационных аварий, военнослужащих, квалитетрии стоматологического, урологического, пищеварительного, микроэлементного статуса специалистов опасных профессий [10–12].

Особенностью таких автоматизированных систем является ориентированность на выявление скрытых факторов, позволяющих ранжировать отдельных индивидуумов по оценке риска здоровью, что позволяет обеспечить «расшифровку» причин и необходимые фактографические данные.

Такие технологии весьма эффективны для реализации в качестве Интернет-приложений, предназначенных для самоконтроля здоровья. При помощи таких приложений (в виде интерактивных опросников или экспертных систем мониторинга и анализа показателей состояния) индивид получает возможность не только оценить риск возникновения и развития заболеваний, но и увидеть, насколько изменяется оценка риска при реализации тех или иных мероприятий, изменяющих качество жизни, т.е. обеспечивается возможность персонифицированного управления рисками здоровью.

- **Концепция математического обеспечения рискометрии здоровья**, позволяющая обеспечить поддержку принятия решений о принадлежности текущего состояния человека к одному из альтернативных классов состояний с определением выраженности проявления признаков состояния определенного класса [13].

Наряду со среднестатистическими (популяционными) показателями, необходимыми для планирования медицинской помощи, разработанная концепция ориентирована на анализ единичных отклонений в показателях состояния. Такие отклонения не считаются артефактами, а подлежат анализу, поскольку могут свидетельствовать о наличии донозологических изменений, которые эволюционно способны перейти в изменения патологические. При этом аномальные значения показателей состояния анализируют системно: во взаимосвязи с показателями состояния других показателей, множество которых определяют, основываясь на теории доминанты А.А. Ухтомского и теории функциональных систем организма П.К. Анохина [11].

Разработанные комплексные методы многоуровневого характера, включающие математические методы компьютерного анкетирования и анализа его результатов на первом уровне, математические методы обработки результатов лабораторных и инструментальных исследований на втором уровне и математические методы анализа многомерных данных на заключительном уровне, позволяют эффективно решать задачи персонифицированного мониторинга здоровья.

- **Информационно-телекоммуникационные технологии мониторинга состояния человека**, к числу которых относятся технологии бесконтактного мониторинга психофизиологического состояния человека (видео-регистрация, биорадиолокация, баллистокардиография и др.) [7–9, 16].

Все более широкое распространение находят телемедицинские информационно-телекоммуникационные технологии, реализующие опыт создания телеметрических систем, использовавшихся для регистрации и передачи на Землю биометрической информации, начиная с первых космических полетов животных и человека и до настоящего времени (с более широкими возможностями дистанционной диагностики здоровья космонавтов и оказания им консультативной медицинской помощи).

Опыт создания, совершенствования и эксплуатации телемедицинских систем в космической медицине успешно используется для развития земной телемедицины, практическое применение которой началось с середины 1990-х гг. В этом аспекте существенное значение имеют развиваемые в рамках телемедицины технологии дистанционного мониторинга состояния

человека с использованием «бытовых электронных устройств» — мобильных телефонов, компьютеров и т.п.

- **Информационные технологии паспортизации здоровья.** Разработки подобных технологий начаты в интересах реализации персонализированных программ контроля профессионального здоровья специалистов опасных профессий и позволяют обеспечить непрерывный мониторинг их состояния на всех этапах профессиональной деятельности, в т.ч. обеспечивая непрерывность мониторинга здоровья с учетом возможного перевода к новому месту службы.

Так, в последние годы реализована компьютерная методика «Навигатор здоровья», позволяющая сформировать индивидуальный «паспорт здоровья» и рекомендации по оздоровлению [8, 9]. По этой методике обследовано более 650 тыс. человек в возрасте от 6 до 60 лет, которые были разделены на 17 возрастных групп (при этом особое внимание было уделено школьникам); построены рейтинговые шкалы для балльной оценки показателей здоровья, используемые при расчете индекса физического здоровья [8].

Кроме того, с января 2008 г. вступил в силу Национальный стандарт [17] — первый стандарт в области медицинской информатики. Этот стандарт определяет статус электронных медицинских документов как составной части медицинской документации, позволяющей полноценно использовать их «электронные возможности». Однако требования к ведению медицинских записей (статусов, эпикризов, консультаций врачей-специалистов, результатов анализов и др.), как и требования к полноте и охвату медицинских записей, приведены в соответствующих нормативных документах, приказах Минздрава, других стандартах, и, безусловно, требуют адаптации с учетом особенностей персонализированной медицины.

Изложенные результаты позволяют говорить о наличии научно-методического фундамента, позволяющего реализовывать информационно-телекоммуникационные технологии персонализации программ мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека. Исследования и разработки в этом направлении в последнее время заметно активизировались.

Развитие персонализированной медицины

В декабре 2012 г. было принято решение о том, что в рамках организуемого в России (после создания в 2004 г. «Международной коалиции персонализированной медицины») консорциума «Персонализированная меди-

на», помимо технологий геномики, постгеномики и др., следует уделить внимание вопросам адаптационной персонализированной медицины [3]. Кроме того, в Российской Федерации решено организовать инновационные «центры превосходства» — центры персонализированной медицины [3], и в этом направлении представителями авиационно-космической медицины сделан существенный вклад. С 1962 г. функционирует Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, а с 1964 г. — Институт медико-биологических проблем РАН, обеспечивающие реализацию идей персонализированной медицины применительно к задачам отбора, тренировки, профилактики, мониторинга и повышения адаптационных возможностей летчиков и космонавтов.

За последние 10 лет были разработаны концептуальные основы организации центров психофизиологической подготовки летного состава государственной авиации. Их сверхзадачей является смещение акцентов при помощи технологий персонализированной медицины с нозологического подхода, направленного на выявление отклонений в состоянии здоровья летчика, препятствующих продолжению летной работы в полном объеме, к психофизиологической подготовке, направленной на повышение психофизиологической надежности летчика в условиях профессиональной деятельности [7–12]. Безусловно, такие подходы в перспективе должны быть реализованы для различных социо-профессиональных групп населения.

В настоящее время лекарственная персонализированная медицина ввиду ограниченных возможностей и высокой стоимости диагностических технологий является достаточно дорогой. Однако возможности таких технологий постоянно растут, а их стоимость по мере совершенствования и востребованности существенно снижается. Ожидается, что в ближайшем будущем персонализированная медицина за счет своей общей эффективности и рационального подбора лекарств должна стать дешевле медицины популяционной. В этом аспекте персонализация программ мониторинга и повышения адаптационных возможностей человека должна стать «площадкой» для отработки соответствующих информационно-телекоммуникационных технологий.

Безусловно, широкое внедрение технологий персонализированной медицины — дело будущего, однако уже есть успешные примеры взаимодействия фундаментальной науки и практической медицины в этой области. Нет сомнений в том, что врачам всех специальностей и населению необходимо ориентироваться на будущее, постепенно менять свой менталитет и начинать переход к предсказательно-предупредительной и профилактической персонализированной медицине.

REFERENCES

1. Jain K.K. Textbook of Personalized Medicine. Springer, New York. 2009. 419 p.
2. *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya meditsinskoj nauki v Rossijskoj Federatsii na period do 2025 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28.12.2012 g. № 2580-r* [Regulations on Strategy of Development of Medicine in the Russian Federation up to 2025. Governmental Directory № 2580-r dated 28 December 2012]. Moscow, 2012.
3. Dedov I.I., Tyul'pakov A.N., Chekhonin V.P., Baklaushev V.P., Archakov A.I., Moshkovskii S.A. *Vestnik RAMN — Annals of RAMS*. 2012; 12: 4–12.
4. *Rossiiskie pol'zovateli Interneta provodyat onlain po 100 minut v den'* (Russian Internet Users Spent 100 Minutes a Day Online). Available at: <http://ria.ru/science/20130417/933071174.html>.
5. Ponomarenko V.A. *Razmyshleniya o zdorov'e* [Thinking over Health]. Moscow, Magistr-Press, 2001. 430 p.
6. Doroshev V.G. *Sistemnyi podkhod k zdorov'yu letnogo sostava v XXI veke* [Comprehensive Approach in Healthcare of Flight Personnel in 21st Century]. Moscow, Paritet-Graf, 2000. 365 p.
7. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. *Fiziologiya truda i nadezhnost' deyatel'nosti cheloveka. Pod red. A.I. Grigor'eva*

- [Labour Physiology and Reliability of Human Activity. Edited by A.I. Grigor'ev]. Moscow, Nauka, 2008. 318 p.
8. Grigor'ev A.I. *Priroda – Nature*. 2012; 1: 30–36.
 9. Grigor'ev A.I., Baevskii R.M. *Kontsepsiya zdorov'ya v kosmicheskoi meditsine* [Health Concept in Space Medicine]. Moscow, Slovo, 2007. 198 p.
 10. Ushakov I.B. *Kombinirovannye vozdeistviya v ekologii cheloveka i ekstremal'noi meditsine* [Combined Effect of Human Ecology and Extreme Medicine]. Moscow, Izdatsentr, 2003. 440 p.
 11. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. *Patterny funktsional'nykh sostoyanii operatora* [Patterns of Manipulator's Functional Status]. Moscow, Nauka, 2010. 390 p.
 12. Ushakov I.B. *Ekologiya cheloveka opasnykh professii* [Human Ecology of Dangerous Professions]. Voronezh, VGU, 2000. 128 p.
 13. Bogomolov A.V., Gridin L.A., Kukushkin Yu.A., Ushakov I.B. *Diagnostika sostoyaniya cheloveka: matematicheskie podkhody* [Human State Diagnostics: Mathematical Approaches]. Moscow, Meditsina, 2003. 464 p.
 14. Nazarenko G.I., Geroeva I.B., Kuznetsov E.A., Negasheva M.A., Glushkov V.P. *Klin. gerontol – Clinical gerontology*. 2005; 11(7): 62–67.
 15. Voitenko V.P. *Zdorov'e zdorovykh. Vvedenie v sanologiyu* [Health of Healthy People. Introduction in Sanology]. Kiev, Zdorov'ya, 1991. 248 p.
 16. Maksimov I.B., Stolyar V.P., Bogomolov A.V. *Prikladnaya teoriya informatsionnogo obespecheniya mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Applicable Theory of Information Support during Biomedical Research]. Moscow, Binom. 2013. 312 s.
 17. *Elektronnaya istoriya bolezni. Obshchie polozheniya. GOST R 52636-2006. Vveden v deistvie s 01.01.2008 g* [Electronic Case History. General Conditions. Put into Effect 01 January 2008]. Moscow, Standartinform, 2007. 16 p.

FOR CORRESPONDENCE

Ushakov Igor' Borisovich, academician of RAS, Director of the Russian Federation State Research Center – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (IMBP RAS).

Address: 76A, Khoroshevskoe Highway, Moscow, RF, 123007; **tel.:** +7 (499) 195-30-30, **e-mail:** ibushakov@gmail.com

Bogomolov Aleksei Valer'evich, PhD, professor, leading research scientist of IMBP RAS.

Address: 76A, Khoroshevskoe Highway, Moscow, RF, 123007; **tel.:** +7 (499) 195-30-30, **e-mail:** a.v.bogomolov@gmail.com