УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ, 2024, том 144, № 2, с. 137–154

УДК 614.2

О СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ И ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ СКВОЗЬ ПРИЗМУ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ И ПРЕЦИЗИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

© 2024 г. С. В. Сучков[1, 2, 8, *], Х. Эйб[3], А. И. Бережной[1], Ш. Мёрфи[4], В. С. Полякова[1], М. В. Васильев[1], А. П. Овчинников[1], Д. Смит[5], В. М. Земсков[6], А. Ш. Ревишвили[6], В. С. Демидова[6], Д. Шэрмэн[7], А. П. Глинушкин[9], А. М. Земсков[10], П. Барах[11], А. Н. Суворов[12]

[1]Институт биотехнологий и глобального здоровья РОСБИОТЕХ, Москва, Россия
[2]Российский университет медицины Минздрава России, Москва, Россия
[3]Онкологическая клиника Абэ, Токио, Япония
[4]Медицинская школа Гарварда, Бостон, Массачусетс, США
[5]Клиника Мэйо, Рочестер, Миннесота, США
[6]Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского, Москва, Россия
[7]Национальный центр научных исследований, Франция
[8]Нью-Йоркская академия наук, Нью-Йорк, США
[9]Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия
[10]Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия
[11]Медицинская школа Университета штата Уэйн, Детройт, Мичиган, США
[12]Институт экспериментальной медицины РАН, Санкт-Петербург, Россия
**e-mail: ssuchkov57@gmail.com*

Поступила в редакцию 21.12.2023 г.
После доработки 11.01.2024 г.
Принята к публикации 11.01.2024 г.

Современные исследования указывают на важность как персонализированного подхода к охране здоровья, включая качественную доклиническую лабораторную диагностику, превентивно-профилактическое питание и построение индивидуальных протоколов питания, так и благополучных условий микроокружения в целом. Однако для достижения оптимальных результатов требуется не только учет индивидуальных особенностей отдельно взятого человека, но и использование передовых технологий. Проведен анализ существующих методов и технологий в области персонализированной нутрициологии, прецизионной фудомики и биоинформатики, а также их вклада в охрану здоровья. Рассмотрены ключевые аспекты этих областей и предложены направления для дальнейших исследований и практической реализации.

Ключевые слова: персонализированная и трансляционная медицина, охрана и сбережение здоровья, биопредикция и превенция

DOI: 10.31857/S0042132424020021, **EDN:** RIGTUQ

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с напряженной обстановкой, сложившейся из-за пандемии, наблюдается значительный рост интереса социума к укреплению здоровья. Серьезные изменения последних пяти лет привели к тому, что ресурсная база охраны здоровья с каждым годом улучшается, расширяется и становится более доступной. Рождаются и новые перспективы развития ресурсной базы охраны здоровья и здоровьесбережения, продиктованные особенностями и инновациями поэтапно формируемой модели здравоохранения – модели персонализированной и прецизионной медицины, которая создает

уникальные условия для появления в сегментах социума и рынка принципиально новых траекторий, включая персонализированную нутрициологию, прецизионную фудомику, биодизайн и биоинформатику, и одновременно увеличивает потенциал развития дизайнерских подходов к снижению заболеваемости и сохранению индивидуального и популяционного здоровья, стабилизируя в итоге национальные генофонды.

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ И ПРЕЦИЗИОННАЯ МЕДИЦИНА (ППМ) КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ДИЗАЙНЕРСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТРАНСЛЯЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Уже давно не секрет, что показатели общей заболеваемости и, особенно, индексы хронизации и инвалидизации населения продолжают неуклонно расти (рис. 1, 2).

Сложившаяся ситуация в мировой медицинской практике и приведенные цифры естественным образом предполагают снижение темпов роста продолжительности жизни. Рост числа случаев онкологических и неинфекционных заболеваний обусловлен повышением за последние столетия загрязнения окружающей среды агентами, вызывающими снижение качества жизни и уровня здоровья населения планеты. Несмотря на стремительное развитие коллективного человеческого знания и роста технической оснащенности, цивилизация не успевает адаптировать систему здравоохранения под новое понимание проблемы – значимость профилактики и упреждения заболеваний (Akhoon, 2021).

Рис. 1. Динамика хронических заболеваний.

Таким образом, около трети трудоспособного населения планеты находится в состоянии предболезни, что может являться сдерживающим фактором в обеспечении экономики кадровыми ресурсами и в ее развитии. Сложившаяся ситуация отчасти обусловлена устареванием методов традиционной медицинской помощи, адресованной, как правило, уже заболевшему человеку. Соответственно, сегодняшняя медицина, направленная на оказание помощи уже больным

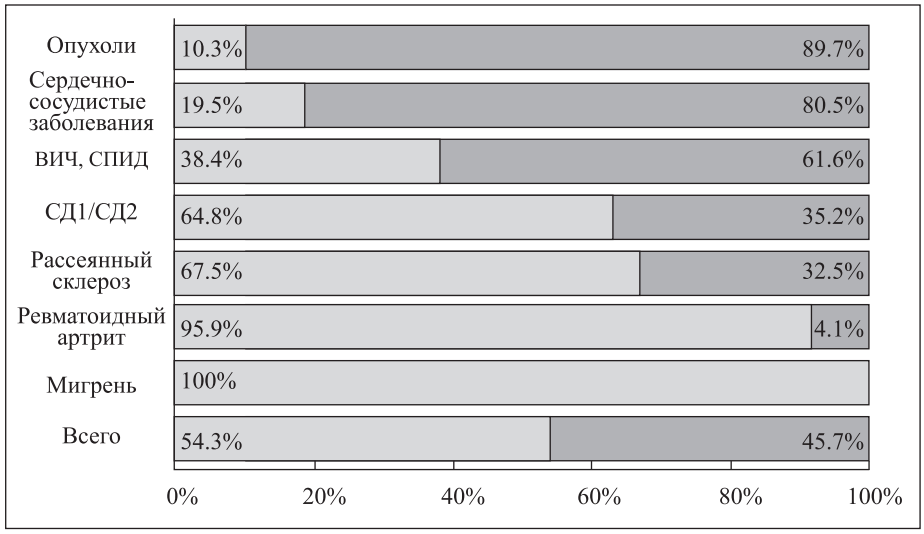

Рис. 2. Общая структура последствий заболеваний (данные по Европе). Доля инвалидизации (светло-серый) и доля смертности (темно-серый).

людям, будучи достаточно консервативной, не способна обеспечить улучшение здоровья будущих поколений (Suchkov et al., 2018).

Становится очевидным, что ресурсы канонической медицины близки к истощению. При этом переход от традиционной медицинской парадигмы, ориентированной на лечение уже заболевшего человека, к системе управления индивидуальным здоровьем представляет собой в большой мере социальную проблему. Возникает необходимость рассмотреть новую концепцию будущего системы здравоохранения (Stefanicka-Wojtas, Kurpas, 2023).

Формирование политики в сфере охраны и укрепления здоровья – одна из приоритетных задач национальных систем здравоохранения. Между тем сегодняшняя медицина не может в полной мере удовлетворять современные запросы в области охраны здоровья, так как опирается на инструменты, созданные с опорой на традиционное понимание медицины, предполагающее использование синтетических препаратов и широкого спектра хирургических инструментов (Yuan, 2022).

Ключевая причина назревшей проблемы – отсутствие в системе здравоохранения звена принципиально новой генерации – оценки индивидуального здоровья, а также системных площадок, обеспечивающих отбор и систематизацию базовых детерминант здоровья (рис. 3).

Ряд ведущих ученых, врачей-профессионалов и маркетологов дали единую и обоснованную оценку базовым тенденциям развития медицины (Шляхто, Конради, 2021; Brothers, Rothstein, 2015; Mathur, Sutton, 2017; Mikulic, 2017; Goetz, Schork, 2018; Jonsson, Stefansdottir, 2019; Howard, 2019; Personalized medicine..., 2020; Erdmann et al., 2021; Johnson et al., 2021; McGrath et al., 2021; Naithani et al., 2021a, 2021b; Ahmed et al., 2023; Gotadki, 2024), подчеркнув, что последние плотно концентрируются вокруг активно разрабатываемого направления, получившего название персонализированной и прецизионной медицины (ППМ) (рис. 4).

Согласно философии ППМ, каждый человек генетически и биологически индивидуален. И поэтому ответ на лечение может значительно различаться в зависимости от особенностей геномного ландшафта индивидуума, от факторов окружающей среды и от образа жизни. ППМ предлагает оцифрованные, обработанные и подготовленные аналитикой индивидуальные медицинские вмешательства (рис. 5).

Омикс-технологии – объединяющее понятие для высоких технологий, используемых в современной биологии и биомедицине. В настоящее время проводится все больше крупномасштабных исследований, результатом которых становится не описание отдельных молекул, а большие массивы сложноорганизованных данных, требующих автоматизированного компьютерного анализа. Омикс – относительно недавно (10–15 лет назад) возникшее направление в области биомедицинских наук, объединяющее геномику, протеомику, метаболомику, транскриптомику, эпигеномику, фармакогеномику, системную биологию и др. (Vogenberg et al., 2010a, 2010b).

Рис. 3. Базовые детерминанты индивидуального здоровья.

Рис. 4. Персонализированная и прецизионная медицина.

Большинство различий между людьми не влияет ощутимо на здоровье. Но оно тесно связано с генетической изменчивостью человека, с его поведением и воздействием окружающей среды (рис. 6).

Согласно мнению экспертов-биоаналитиков, вклад наследственности (геномного фактора) как ключевой детерминанты в формирование здоровья достигает порядка 20%! На долю экологических факторов, которые также не подвластны коррекции силами медиков, приходится 10–20%. Возможности существующей медицины в стратегических секторах охраны здоровья и здоровьесбережения не превышают 10%.

Оставшиеся 50–55% относятся к индивидуальному образу жизни, который может быть здоровым или нездоровым. Соответственно, главная ставка в цивилизованных странах делается сегодня на инновационные технологии, создаваемые для прогнозирования и управления рисками в рамках глобальных и индивидуальных программ управления собственным здоровьем (ПУСЗ). И поэтому такой подход позволяет спрогнозировать возможные реакции пациента или представителя группы риска на те или иные медицинские рекомендации и вмешательства (Mohan et al., 2019). Глобально обновляемая модель охраны здоровья ППМ получи-

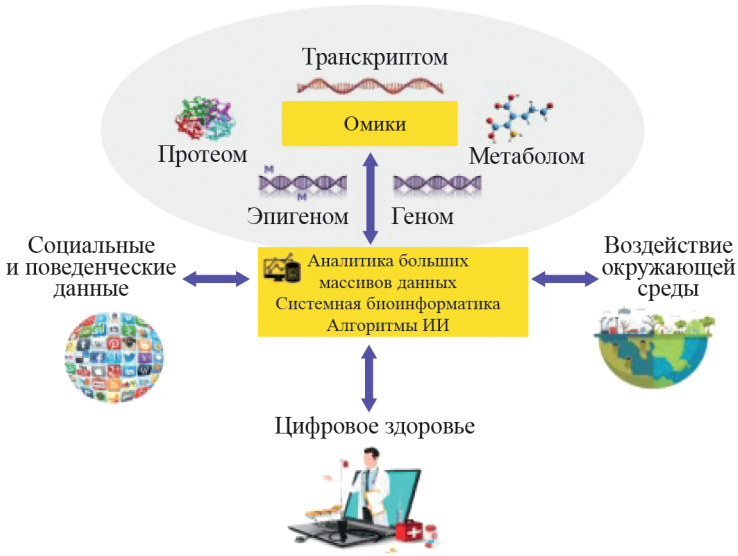

Рис. 5. Стратегические технологии и инструменты ППМ.

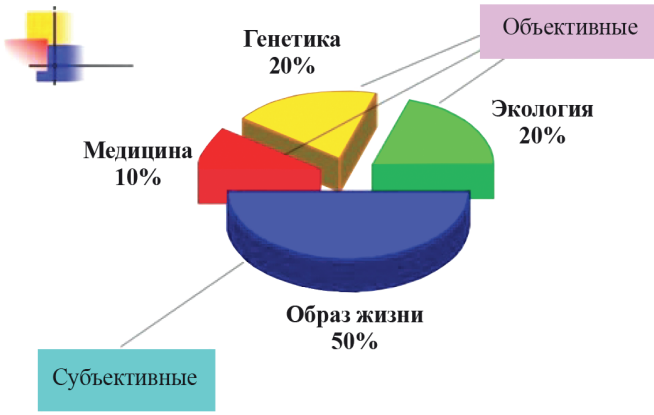

Рис. 6. Группа влияющих на здоровье факторов, которые необходимо учитывать в программах по управлению собственным здоровьем (ПУСЗ).

ла и получает развитие благодаря адресному использованию индивидуализированных (пациент-ассоциированных) манипуляций с учетом влияний генетических, фенотипических и экспосомальных (средовых) факторов (Шляхто, Конради, 2021) (рис. 7).

Современные достижения и дизайнерские разработки в области ППМ основаны на технологиях, которые выявляют фундаментальные биологические особенности пациента или представителя группы риска. А точнее, здравоохранение нового (интенсивного) типа основано на принципах “Святой Троицы”: ППМ, интегративной медицины и системной биологии (которые противопоставляются традиционным принципам гиппократовской и/или галеновской медицины), а именно – лечение не болезни, а целостного организма с опорой на сочетанное использование по ходу оздоровления патогенетически ориентированных технологий с объединением усилий врача и пациента. А еще точнее, продиктованная философией и ресурсной базой ППМ медицинская помощь основана на динамике системной биологии и возможностях трансляционных исследований и, соответственно, использует интеллектуальные инструменты для оценки рисков для здоровья и разработки персональных планов и протоколов медицинского обслуживания, чтобы помочь пациентам обрести здоровье, а представителям группы риска снизить вероятность или предотвратить заболевание (Iriart, 2019).

Прогресс в ППМ приводит к ощутимым преимуществам, в том числе к возможности выявлять заболевания на ранней (доклинической) стадии и создавать персонализированные протоколы превентивно-профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий, интегрировать высокопроизводительные технологии гено- и фенотипирования с интенсивным использованием электронных медицинских карт и иных IT-инструментов, формировать уникальные по информативности общие и специализированные (профильные) базы данных. Такого рода подход предоставляет беспрецедентную

Рис. 7. Влияние генетических, фенотипических и экспосомальных факторов на состояние здоровья индивидуума.

Рис. 8. Развитие и прогрессирование хронического заболевания: основные периоды (стадии) развития и прогрессирования патологии сквозь призму ППМ.

возможность выделять и описывать новые биофенотипы на основании данных как традиционной клинической практики, так и принципиально новых генераций, включая данные по биомаркированию. То есть появление ППМ, ее развитие и внедрение в структуру клинической практики приближает нас к более точной, предсказуемой и мощной медицинской помощи, разработанной специально для каждого отдельного пациента или представителя группы риска, характеризуемых по целому ряду логистически взаимосвязанных между собой параметров (Collins, Varmus, 2015).

Для достижения вышеуказанной цели претворения на практике концепции ППМ должна быть создана принципиально новая стратегия, основанная как на клиническом (на фоне развернутой клинической картины заболевания), так и на доклиническом (и/или предиктивном) выявлении биоиндикаторов (биомаркеров) скрытой патологии задолго до проявления признаков болезни (рис. 8, 9).

Так, например, выявление определенных генетических полиморфизмов (ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, NO-оксидазы эндотелиновой системы и др.) в качестве геномных биомаркеров позволяет выделять людей с высоким риском развития сердечно-сосудистой патологии и ее осложнений (ИБС, инфаркт миокарда и др.).

А выявление генетических полиморфизмов в системе детоксикации ксенобиотиков (прежде всего N-ацетилтрансферазы 2) позволяет выделить группы лиц с высоким риском онкологических заболеваний или лиц с бессимптомной онкопатологией.

К ключевым факторам биопредикции, которые определяют риски предраковых состояний, следует отнести фактор онкологической настороженности в его, подчеркиваем, современной трактовке (Strianese et al., 2020): идентификация единичных (циркулирующих в организме) трансформированных клеток, включая стволовые клетки-предшественники канцерогенеза (рис. 10). Их раннее выявление крайне продуктивно для: а) доклинической диагностики предрака в стадии латенции; б) оценки совокупных рисков метастазирования; в) мониторинга эффективности проводимого лечения и прогнозирования возможных рецидивов.

Такого рода стратегия дает врачу реальную возможность вовремя принимать превентивно-профилактические меры, персонализация которых может оказать существенное влияние на демографическую ситуацию. По выражению великого французского врача Рене Лериша: “Бо-

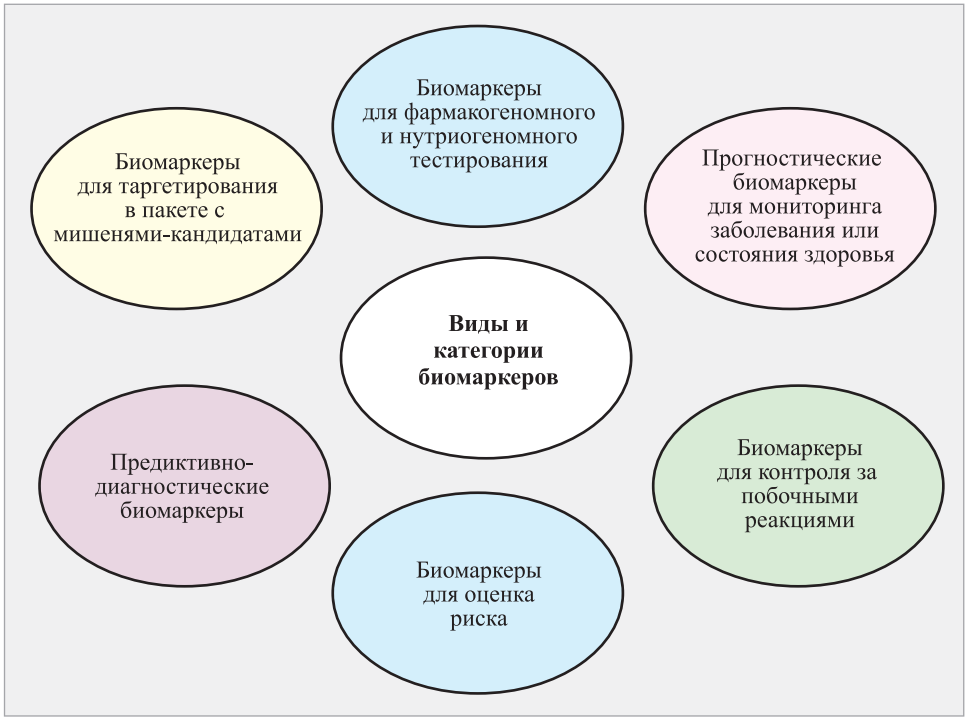

Рис. 9. Виды, семейства и категории биомаркеров.

лезнь – это драма в двух действиях: причем, первое (длинное) происходит при погашенных свечах в тишине наших органов и тканей, и лишь во втором (коротком) появляется боль и другие зримые явления". То есть любому врачу-профессионалу сегодня ясно, что успех лечения напрямую зависит от стадии патологического процесса – на более ранней стадии выше процент реконвалесценции и, соответственно, вероятность успеха, а при риске хронизации и инвалидизации – наоборот, заметно ниже. А если очаг патологии различим глазом, то профилактикой заниматься, как правило, уже поздно (Sairamesh, Rossbach, 2013).

В последние годы ППМ и ее уникальный портфель ресурсов стали революционными подходами в сфере здравоохранения. Так, например, информация о хронических заболеваниях и их генеалогических корнях среди членов семьи пациента дают представление о факторах риска и для самого пациента, и для членов его семьи, что позволяет считать их представителями группы риска и сформировать базовые подходы для профилактики заболеваний или их превенции. При этом использование IT-ресурсов и широкого спектра мобильных приложений предоставляет возможность осуществлять мониторинг здоровья, включая питание, физическую активность и образ жизни, в чем существенное место также занимает потенциал социальных сетей, способный отслеживать эпи- и пандемические угрозы (Напольский, Попова, 2022; Raikwar et al., 2019).

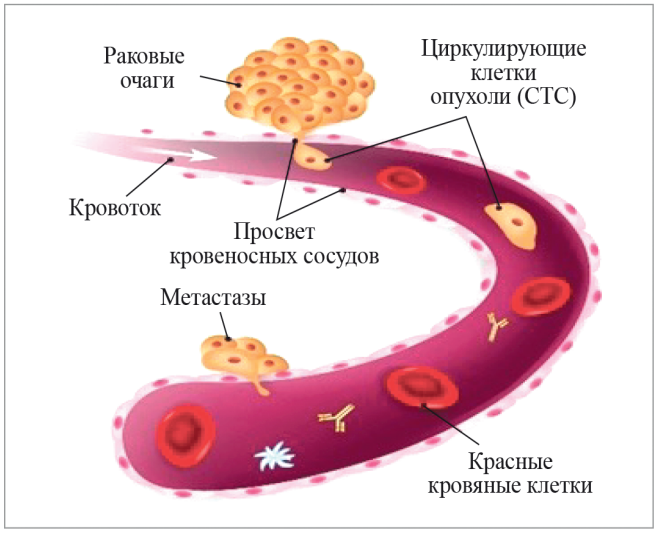

Рис. 10. Циркулирующие опухолевые (трансформированные) клетки.

Не менее значимую роль в реализации целей и задач ППМ играет скрининг на наличие определенных форм патологии или соответствующих рисков новорожденных, беременных, а в последние 5 лет и планирующих потомство семейных пар, что обеспечит своевременное начало превентивно-профилактических мероприятий, минимизируя риски инвалидизации и хронизации прогнозируемых форм патологии (Dai, Shen, 2022).

Как следует из вышесказанного, ППМ – это революционные для науки, медицины и социума в целом перемены глобального характера, определяющие переход здравоохранения на уровень системной профилактики и превенции с постоянной заботой о здоровом образе жизни. В основу этой модели заложены принципы, позволяющие максимально задействовать адаптационные ресурсы индивидуума в целях выживания в данный момент, что обеспечивает стабильность национальных генофондов в перспективе.

На основании комплексной оценки состояния молекулярно-генетического гомеостаза диагностируется наличие или отсутствие фактов индукции патологических процессов, а также оценивается прогноз тяжести их течения. Соответственно, разрабатываемые в рамках концепции ППМ протоколы превентивно-профилактических мероприятий предполагают воздействие на патологические процессы в скрытом (латентном, доклиническим и, как правило, бессимптомном) периоде болезни – до появления признаков клинической манифестации. При этом превенция как один из ключевых инструментов ППМ направлена на существенное снижение риска индукции патологии и/или блокирование основных механизмов, которые, будучи детерминированными генами предрасположенности, стимулируют ее развитие. Именно в структуре превентивно-профилактического сегмента ППМ заложены не только философия и альтернативная идеология, но и новая методология здравоохранения, суть которой заключается в управлении состоянием здоровья с помощью предикции и превенции – основных технологий здоровьесбережения (Vogenberg et al., 2010a, 2010b).

Для практической реализации превентивных технологий требуется расшифровка природы ранее неизвестных молекулярно-генетических объектов – потенциальных фарма- и нутрицевтических мишеней, определяющих профильность в разработках и создании принципиально новых фарма- и нутрицевтических средств, а также способов их таргетной доставки в клетки- и ткани-мишени. Препараты этого поколения должны воздействовать (изолированно или комплексно) на определенные компоненты (как правило, рецепторные комплексы) сигнальных внутриклеточных путей, а также влиять на молекулярные механизмы прохождения по вышеуказанным путям соответствующего сигнала.

В этой связи следует подчеркнуть, что адаптация медицинского обслуживания к уникальному геномному ландшафту (генотипу) каждого индивидуума в отдельности – одна из ключевых идей ППМ. Соответственно, именно ППМ становится стратегическим объектом внимания профессионалов, ориентируя национальные аудитории на транснациональные тренды, ранее гражданам в большинстве стран не особо привычные, а именно: на профилактику и предупреждение заболеваний, взаимоувязанных с оценками совокупных рисков и угроз, и на активное продвижение здорового образа жизни.

Внедрение в мировую медицинскую, фармацевтическую и нутрицевтическую науку достижений геномики, протеомики и метаболомики позволило ученым, биодизайнерам, биотехнологам и врачам-исследователям ведущих мировых научных центров детально представить молекулярный уровень здорового и больного организма, точнее, ключевые особенности физиологических и патологических состояний, включая пограничные, которые представляют собой переход, связующее звено между нормальной физиологией и патологией – “мост с двусторонним движением”.

Революция в области ППМ открыла прибыльные возможности для фармацевтической и пищевой промышленности, которые сконцентрированы на разработке таргетных и биодоступных таргетных лекарственных препаратов и биодобавок. В настоящее время наибольшее внимание сосредоточено на создании таргетных лекарственных средств, направленных на:

1) подавление процессов малигнизации клеток с профилактикой процессов метастазирования (для заболеваний опухолевой природы);

2) приостановку/блокаду аутоагрессии (для заболеваний аутоиммунной природы);

3) восстановление морфофункционального ресурса органов и тканей при заболеваниях, ассоциированных со старческим возрастом.

При этом активно закладываются базовые основы для конструирования таргетных нутрицевтиков (в первую очередь, пробиотиков), ориентированных на превенцию и профилактику хронических форм патологии с акцентом на обменные процессы в организме.

Внедрение ППМ в практику изменит подход к диагностике и лечению и приведет к более активному участию пациента на всех без исключе-

ния стадиях развития патологии и проводимых лечебных мероприятий.

Мы начинаем видеть и понимать, что ППМ как модель следующего поколения безупречно синтезировала в своей сердцевине фундаментальные, клинические, биоинженерные и IT-сектора современной науки и дизайна, демонстрируя интеграцию новейшего инструментария сквозь призму целей и задач практической медицины и здоровьесбережения (Villalón-García et al., 2020) – ППМ основана на большой и новой трансдисциплинарной платформе, родившейся на стыке наук (рис. 11, 12, 13).

ТраМед (трансляционная медицина) – междисциплинарная область знаний, объединяющая элементы клинической медицины и биотехнологические подходы к разработке новых лечебно-диагностических средств. ТраМед призвана создать оптимальные механизмы внедрения в клиническую практику наиболее значимых достижений фундаментальной науки.

ППМ уже сегодня оперирует достаточным арсеналом инструментов принципиально новых генераций, необходимых для оценки предрасположенности клиента к развитию той или иной формы патологии. При этом инструментарий ППМ не только значительно повышает эффективность лечебно-диагностических мероприятий, но и увеличивает пропускную способность консультационно-диагностических и лечебно-диагностических центров в ходе диспансерных обследований благодаря применению в качестве инструментов скрининга и мониторинга биочипов, ассоциированных с алгоритмами и программами искусственного интеллекта, машинного обучения, блокчейна и облачных технологий хранения, обработки и передачи данных. Именно биоинформатика и предлагает врачу способ интерпретации огромного массива данных, используя при создании единых информационных систем платформы мобильных телекоммуникаций, а также сетевые облака.

IT-методы и компьютерные программы (а их предполагаемый вклад в общий объем лечебно-диагностических мероприятий составит 95%) в едином интегральном пакете с протоколами лабораторной и инструментальной диагностики, формируют фундаментальную основу процедур принятия врачебных решений. В том же формате излагаются и возможности коррекции выявленных нарушений в целях индивидуализации протоколов превентивно-профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий, способствующих подавлению типового патологического процесса или препятствующих его развитию, а также минимизации соответствующих рисков и угроз (Johnson et al., 2021).

Такого рода протоколы по аккумуляции данных всестороннего обследования клиента пакуются в особые портфолио, помогающие междисциплинарным группам специалистов ориентироваться в потоках сложнейшей и многоплановой

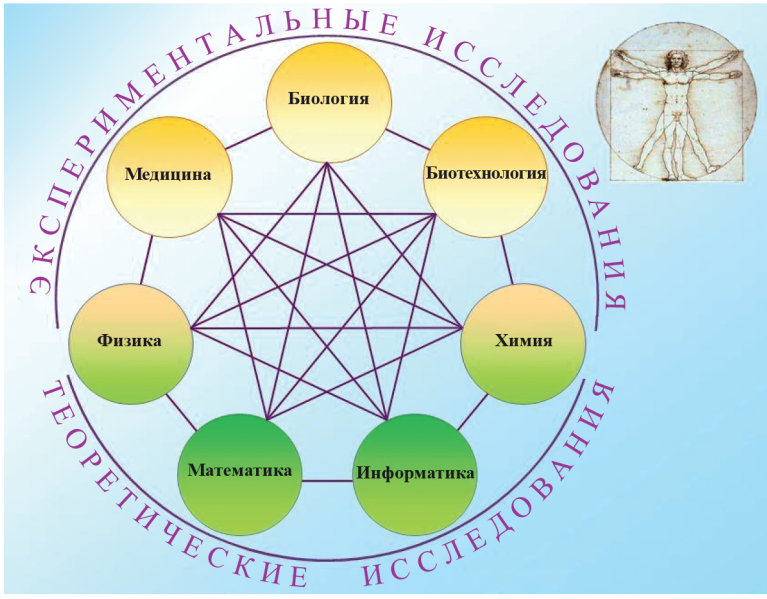

Рис. 11. Системная биология – интегративная наука и источник трансдисциплинарных подходов к разработке технологических методов и приемов в сфере ППМ.

Рис. 12. Трансляционная медицина.

Рис. 13. Информатизация медицины сквозь призму биоинформатики.

информации, превращая эти потоки в готовую к применению бесценную и продуктивную базу данных. А интеграция систем поддержки принятия врачебных решений, электронных медицинских карт, историй болезни и медицинских регистров рождает в рамках протоколов ППМ высококачественную помощь принципиально нового уровня и эффективности.

Неотъемлемой задачей становится необходимость идентификации генов, ответственных за формирование конкретного феномена. Соответственно, на любой из стадий болезни генетическое тестирование дает возможность получать информацию об индивидуальных рисках, выявляя патологический процесс на его доклинической стадии и далее обеспечивая эффективный и своевременный контроль по предикции и прогнозированию стадий прогрессии, вероятности осложнений, угроз рецидивов и оценке эффекта применяемых фарма- и/или нутрицевтических препаратов. Масштабы же индивидуальных рисков определяются специальными расчетами на основе валидированных панелей биомаркеров с использованием соответствующих алгоритмов и программ и требуют своевременной и эффективной коррекции.

Важный аспект построения эффективной системы биозащиты с участием сетевых структур, лечебно-профилактических учреждений и биобанков – создание глобальной системы биомониторинга инфекционной и онкологической заболеваемости с контролем и прогнозированием развития эпидпроцесса (Romero-Otero et al., 2016; Chakraborty et al., 2018).

Итак, модель ППМ – принципиально новая отрасль здравоохранения, основанная на исчерпывающей информации по конкретному индивидууму, взаимодействующему со своей микросредой. При этом ППМ представляет собой сложнейшую задачу персонализации, прогнозирования и предотвращения, основанную на большой и новой науке, порожденной достижениями системной биологии и трансляционного арсенала при интеграции в производственный процесс и клиническую практику платформ омикс-технологий и биоинформатики (Пальцев и др., 2019).

ОСОБЕННОСТИ ДИЗАЙНЕРСКИХ И ТРАНСЛЯЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В СФЕРАХ ТАРГЕТНОЙ ТЕРАПИИ, ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ И ПРЕЦИЗИОННОЙ ФУДОМИКИ СКВОЗЬ ПРИЗМУ ОМИКС-ТЕХНОЛОГИЙ

Разработка и приложение системных стратегий к биологии и медицине трансформируют исследования и практику с беспрецедентной скоростью, ориентируя их на доминирование в едином общем потоке дизайнерских проектов и трансляционных разработок, диктуемых запросами потребителя и рыночными реалиями.

Дизайнерское проектирование и разработки – это междисциплинарный подход к проектированию продуктов биотехнологии, фармакологии и пищевой индустрии, способный решать широкий спектр задач, который объединяет принципы биологических наук, материаловедения и процессов проектирования. Омикс-технологии позволяют добиться прогресса за счет оптимизации биологических систем, способствуя повышению качества биопроизводства и таргетной медицинской терапии посредством детального клеточного и молекулярного анализа. Высокопроизводительная биоинформатика упрощает инженерное проектирование, преобразуя сложные данные в инновационные продукты, ориентированные на производительность, устойчивость и соответствие требованиям. Интерактивный цикл модель–симуляция–проверка позволяет быстро создавать прототипы экономически и технически обоснованных решений. Более того, системная биология помогает прогнозировать биологические процессы для эффективного синтеза биомолекул, что сопровождается созданием микроорганизмов или клеток, производящих определенные продукты, в частности терапевтические белки или материалы на биологической основе (Wooller et al., 2017).

Трансляционные исследования и разработки – это сегмент прикладной науки, цель которой – сделать научные открытия более доступными для широкого применения в различных областях: в науках о жизни, в медицине, в фармацевтике и в пищевой биоиндустрии, а также в стратегических сегментах биодизайна и биоинженерии. Таким образом, ТраМед – это область приложений принципиально нового поколения, направленных на улучшение состояния здоровья и продление креативного долголетия, и исследований путем оценки значимости новых открытий для здравоохранения и здоровьесбережения (Hampel et al., 2023). ТраМед стремится координировать использование новых знаний сквозь призму дизайнерской философии в биотехнологии и биофармацевтике, нутрициологии и экобиобезопасности, а также в клинической практике, комбинируя клинические наблюдения, экспериментальные результаты и научные гипотезы. Таким образом, это двунаправленная концепция, использующая так называемые прикроватные факторы, которая направлена на повышение эффективности клинических

испытаний новых диагностических, предиктивно-прогностических и терапевтических стратегий, разработанных в ходе фундаментальных исследований.

Таким образом, цели ППМ и ТраМед как тандема в академических кругах, клинике и биоиндустрии дополняют друг друга. А грамотно сбалансированный подход, который поощряет партнерство между этими сегментами, создает продуктивную обратную связь, в которой преимущества, полученные в академических кругах, логистически ведут к разработке новых продуктов в биоиндустрии, внедряемых в клиническую практику (Naithani et al., 2021a, 2021b).

ОМИКС-ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ БИОИНФОРМАТИКИ В СФЕРЕ ФАРМАЦЕВТИКИ

Высокотехнологичные и высокоточные современные молекулярные методы, анализ больших наборов данных стали важными инструментами в разработке лекарств. Омикс-технологии активно используются для поиска, выделения и характеристики целевых биомаркеров в качестве мишеней для таргетных лекарственных средств (Ализаде, Рудин, 2019).

Геномика. Благодаря секвенированию нового поколения произошел прорыв в области поиска мишеней и разработки лекарств, чему способствовали глубокая и высокоточная сравнительная оценка нормальных и больных тканей, профилирование транскрипции и/или экспрессии генов, профилирование побочных эффектов, развитие фармакогеномики, а также выявление новых генетических биомаркеров (Haidar et al., 2022). Имеются фактические данные, которые убедительно подтверждают идею о том, что препараты с мишенями, подтвержденными генетическими исследованиями человека, имеют гораздо более высокую вероятность успешной реализации, чем те, у которых таких доказательств нет (Усова и др., 2022; Драпкина и др., 2023; Hassan et al., 2022).

Принцип клинической ППМ заключается в том, что пациенты по-разному реагируют на лекарства: дозы, эффективные для одних пациентов, неизбежно окажутся неэффективными или вызовут побочные реакции у других больных.

Фармакогеномика изучает то, как генетические особенности человека влияют на его реакцию на лекарственные препараты. А фармакогеномное тестирование является эффективным инструментом для повышения безопасности и действенности лекарств (Roden et al., 2019).

Транскриптомика (РНКомика). Исследование транскриптома включает анализ транскриптов РНК, продуцируемых геномом в определенных условиях или в определенных клетках (Song et al., 2019), и продвигается вперед с помощью технологий секвенирования РНК. Посредством сравнения экспрессии генов в здоровых и больных состояниях транскриптомика может идентифицировать признаки заболевания еще до развития первых, видимых симптомов заболевания, обнаруживать уникальные биомаркеры для диагностики или прогноза и давать представление о генетических вариациях, влияющих на заболевание. Транскриптомика и РНКомика играют ключевую роль в понимании биологической основы заболеваний, особенно в выявлении молекулярных подтипов различных состояний, в частности онкологических, что может определять стратегии персонализированного лечения (Бондаренко и др., 2023; Might, Crouse, 2022).

Протеомика. Исследование белков в больших масштабах вносит весомый вклад в системную биологию и имеет решающее значение для обнаружения биомаркеров, которые помогают в разработке диагностических инструментов и терапевтических стратегий. Протеомные методы активно используются в области разработки лекарственных препаратов для определения мишени, оптимизации ряда соединений и построения процесса клинических испытаний (Russell et al., 2013).

Метаболомика. Изучение значительных изменений в структуре метаболитов признано инструментом для понимания важнейших аспектов разработки лекарств – эффективности и токсичности. Достижения в сфере аналитических стратегий и статистических инструментов, используемых в метаболомике, позволяют предотвращать неудачи в разработке лекарств на ранних стадиях и снижать финансовые потери во время дорогостоящих клинических испытаний II и III фазы (Ramana et al., 2015).

Однако внедрение метаболомики в практику сопряжено с некоторыми проблемами: сложностью и объемом данных, необходимостью стандартизации методов и интеграции метаболомных данных с другими омиксами. Несмотря на эти проблемы, будущее кажется многообещающим благодаря достижениям в области аналитических технологий, биоинформатики и машинного обучения, способствующих интеграции метаболомики в повседневную клиническую практику. Этот прогресс направлен на точную настройку классификации заболеваний, более точное прогнозирование реакции на лечение и мониторинг здоровья пациентов в режи-

Рис. 14. Схема применения мультиомических технологий в создании лекарственных средств нового поколения.

ме реального времени, прокладывая путь к новой эре персонализированного здравоохранения (рис. 14).

В ходе многоступенчатого анализа с применением инструментария омикс-технологий биообразцы анализируются с целью выявления потенциальных биомаркеров разной направленности (прогностической, терапевтической и т.д.), а также для понимания молекулярных механизмов, лежащих в основе их связи с определенными заболеваниями. Поскольку на протекание заболевания влияют взаимодействия между различными типами молекул, многоуровневые (сетевые) биомаркеры становятся все более популярными, хотя их проверка требует более обширных исследований из-за их сложности. Алгоритмические подходы разрабатываются для создания мультимодальных сигнатур, объединяющих различные типы молекулярных данных (Медведева и др., 2016; Mathur, Sutton, 2017).

Биоинформатика. При создании лекарств биоинформатика позволяет эффективно анализировать и интерпретировать крупномасштабные биологические данные, облегчая идентификацию мишени, оптимизацию ведущих соединений и прогнозирование взаимодействий в тандеме лекарство–мишень (Wooller et al., 2017). Она помогает идентифицировать и характеризовать потенциальные мишени лекарств посредством геномного и протеомного анализа.

Кроме того, биоинформатика позволяет прогнозировать метаболизм и фармакокинетические свойства лекарств, предлагая оценку безопасности и эффективности потенциальных кандидатов на лекарства. Интеграция вычислительных инструментов и алгоритмов с биологическими и химическими данными ускоряет процесс разработки лекарств, повышает показатели успеха и снижает затраты. Биоинформатика стала незаменимым инструментом в формировании новых методов лечения и в повышении эффективности и безопасности лекарств (Рожкова и др., 2022).

Искусственный интеллект. В целях получения более точных и быстрых результатов сложные и объемные данные из омикс-арсенала и клинических испытаний подвергаются обработке искусственными нейронными сетями и алгоритмами машинного обучения, которые,

в частности, уже применяются при разработке лекарственных препаратов в ряде процессов: в виртуальном скрининге на основе структуры или лигандов, в предсказании токсичности, в оценке количественной связи между структурой и активностью, в репозиционировании лекарств, в полифармакологии и др. (Gupta et al., 2021).

В ближайшем будущем станет ясно, помогут ли новые алгоритмы искусственного интеллекта ученым: 1) идентифицировать новые мишени или новые показания для существующих лекарств; 2) выявить скрытые факторы, информирующие о патогенезе заболевания или реакции на лекарственное средство; 3) обнаружить прогностические биомаркеры, которые позволят использовать стратегии стратификации пациентов, способные оптимизировать клинические испытания; 4) в конечном счете влиять на цепочку создания стоимости лекарственных средств (Prosperi et al., 2018).

ОМИКС-ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ БИОИНФОРМАТИКИ В СФЕРЕ НУТРИЦИОЛОГИИ И ФУДОМИКИ

С момента создания первой высокопроизводительной технологии ДНК-микрочипов (Mathur, Sutton, 2017) омикс-методы развивались очень быстро, используясь для регистрации статических геномных вариаций, временных транскриптомных возмущений и альтернативного сплайсинга, а также пространственно-временной протеомной динамики и посттрансляционных модификаций. Помимо этого, спектр омикс-технологий был существенно расширен для анализа на эпиуровнях (эпигеном, эпитранскриптом, эпипротеом). При этом метаболом и иммуном определяются как совокупность всех омикс-модификаций (помимо информации, содержащейся в одной клетке), молекулярных взаимодействий (различных уровней интерактома) и признаков, связанных с заболеванием. А интеграция мультиомиксов стала преобладающей тенденцией для построения причинно-следственных связей между молекулярными сигнатурами и фенотипическими проявлениями конкретного заболевания на уровне органов, тканей и даже одной единственной клетки (Schena et al., 1995).

На каждого индивидуума, помимо лекарственного прессинга, может влиять и диета (внешние раздражители), определяя риски возникновения определенных заболеваний или осложнений. Но диета состоит из продуктов, а продукты происходят из живых организмов, и на них в свою очередь могут влиять внешние раздражители, в частности преобразующие технологии. Таким образом, чтобы достичь конечной цели в процессах улучшения здоровья человека, нам необходимо рассмотреть все эти возможные динамические взаимодействия в рамках омикс-подхода. Глобальное видение означает не только широкую экспертизу с применением передовых технологий, но и способность взглянуть на проблему с точки зрения фудомного подхода. Фудомика – это всеобъемлющий, высокопроизводительный подход к использованию науки о продуктах питания в свете улучшения питания, оптимизации здоровья и благополучия человека.

Пища представляет собой очень сложную смесь, и при такой сложности ее определение не может основываться только на заранее выбранных компонентах. Более того, выполненное с помощью композиционного анализа исследование не всегда отвечает на вопрос об особенностях взаимодействия пищевых продуктов с организмом конкретного человека (Naithani et al., 2021a, 2021b).

Сосредоточив внимание на влиянии конкретных питательных веществ на определенные метаболические пути, мы рискуем забыть о влиянии суммарного пищевого рациона на организм человека в целом. Именно фудомика постоянно стимулирует продвижение новых омикс-технологий и связанных с ними методов в развитие пищевой биоаналитики (Horgan, Kenny, 2011).

Транскриптомика позволяет подтвердить модуляцию глобального профиля экспрессии генов различными питательными веществами, соотнеся ее с профилактикой заболеваний, а также разработать стратегии смягчения воздействия микробов на готовые к употреблению пищевые продукты (Babu, Snyder, 2023).

Протеомика может внести значительный вклад в безопасность пищевых продуктов, а также в профилактику рака и алиментарных форм патологии с помощью пищевых биоактивных веществ (Шамова и др., 2021).

Метаболомика обеспечивает систематическое изучение уникальных химических отпечатков, которые оставляют определенные клеточные процессы, и быстро становится фундаментом науки о питании.

В этом отношении технологический арсенал переживает новую эру, поскольку его интеграция с инструментами биоинформатики проливает новый свет на аккумулируемые данные. А оптимизация алгоритмов статистического анализа совокупности генома, протеома и метаболома – важная задача для полного использо-

вания потенциала, исходящего от поступающей в базы данных омикс-информации.

Эволюция исследований генного метаболизма от исследований отдельных генов/одиночных метаболитов до полногеномных ассоциативных исследований позволила провести непредвзятый поиск по всему геному человека для выявления общих генетических факторов, влияющих на целостные фенотипы метаболомики.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обновление модели здравоохранения и технологий здоровьесбережения в России сдерживается рядом фундаментальных проблем: 1) в определенной степени устаревшими технологическими платформами и образовательными площадками, готовящими специалистов, скорее, для вчерашнего дня, а не для завтрашнего; 2) снижением профессиональных и социальных стимулов обновления ментальных приоритетов. Соответственно, грандиозные в своих реалиях изменения, которые происходят на мировых площадках сегодня, безотлагательно требуют кардинального пересмотра взглядов на системное отношение государства к здоровью нации и биобезопасности страны в целом.

Внедрение в практику идеологии и технологий ППМ потребует колоссальных усилий со стороны не только государства и медицинского сообщества, но и мирового социума в целом, обеспечивающего гарантированную эффективность формирования стратегических альянсов и конкретных технологических площадок для консолидированного продвижения на международные рынки глобального продукта – обновляемой модели охраны здоровья.

Становится очевидным, что мировому сообществу необходим и принципиально иной подход для широкого распространения инновационного мышления, точнее, современная лишенная национальных границ и барьеров школа для формирования специалистов новой генерации, использующих нетрадиционные критерии, стиль мышления и сценарии деятельности.

Широкое внедрение ППМ и обновляемых технологий и ресурсов здоровьесбережения в практику позволит достичь, по оценкам экспертов, социальной экономии, исчисляемой десятками миллиардов долларов США в год на каждом миллионе лиц, находящихся под профилактическим наблюдением. При этом неизбежной становится и глобальная модернизация медико-фармацевтического рынка, что в совокупности становится зависимым от тесной международной кооперации нового поколения – союзов врачей, экономистов, юристов, политиков и специалистов производственно-технологических комплексов, обслуживающих врачей-практиков.

Настало время менять приоритеты. В связи с чем неизбежно возникает объективный вопрос: можно ли что-то изменить?

Отвечая на поставленный вопрос, скажем, что изменить можно и нужно, если стратегический акцент сфокусировать на понятии витальной биобезопасности личности, которая обеспечивается гарантиями и службы ППМ с ее широким спектром возможностей (охватывая здоровье индивидуума и ресурсы лекарственной и продовольственной безопасности), и тесной транснациональной кооперации, которая придает конкретные перспективы обновляемой модели будущего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы находимся на грани глобальных перемен, которые иллюстрируют переход от национальных и региональных систем здравоохранения, ориентированных на лечение заболеваний, к модели, сосредоточенной на предупреждении заболеваний путем управления собственным здоровьем. Не исключено, что следующие поколения будут говорить о XXI веке как о времени, когда лечение стало превентивным и персонифицированным, а его результаты – предсказуемыми и гарантированными.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнялась в рамках Программы плановых исследований НИР в Национальном медицинском исследовательском центре хирургии им. А.В. Вишневского и в Воронежском государственном медицинском университете им. Н.Н. Бурденко.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей или животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ализаде Ю.С., Рудин Л.Б. Перспективы использования омикс-технологий в доклинической практике производственно обусловленных заболеваний голоса // Мед. труда пром. экол. 2019. Т. 9. С. 541–542.

Бондаренко А.Б., Князева А.Р., Чебуркин Ю.В. Роль микроРНК в диагностике рака почки // Рос. журн. персонализ. мед. 2023. Т. 3 (5). С. 46–59. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2023-3-5-46-59

Драпкина О.М., Лимонова А.С., Гарбузова Е.В. и др. Персонализированная профилактика: возможности и ограничения оценки полигенного риска // Рос. журн. персонализ. мед. 2023. Т. 3 (5). С. 14–21. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2023-3-5-14-21

Медведева Е.А., Суркова Е.А., Лимарева Л.В., Щукин Ю.В. Молекулярные биомаркеры в диагностике, стратификации риска и прогнозировании хронической сердечной недостаточности // Рос. кардиол. журн. 2016. Т. 8 (136). С. 86–91.

Напольский И.Н., Попова П.В. Персонализированное питание для профилактики и лечения метаболических заболеваний: возможности и перспективы // Рос. журн. персонализ. мед. 2022. Т. 2 (1). С. 15–34. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-1-15-34

Пальцев М.А., Чемезов А.С., Линькова Н.С. и др. Омиксные технологии: роль и значение для развития персонализированной медицины // Мол. мед. 2019. Т. 17 (4). С. 3–8. https://doi.org/10.29296/24999490-2019-04-01

Рожкова Н.И., Бурдина И.И., Запирова С.Б. и др. Возможности и проблемы цифрового мира мультимодальной интервенционной радиологии молочной железы (обзор) // Мед. алфавит. 2022. Т. 31. С. 15–22. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-31-15-22

Усова Е.И., Алиева А.С., Яковлев А.Н. и др. Роль мультиомиксных технологий и генетического анализа в диагностике и прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний // Рос. журн. персонализ. мед. 2022. Т. 2 (2). С. 6–16. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-2-6-16

Шамова О.В., Жаркова М.С., Чернов А.Н. и др. Антимикробные пептиды врожденного иммунитета как прототипы новых средств борьбы с антибиотикорезистентными бактериями // Рос. журн. персонализ. мед. 2021. Т. 1 (1). С. 146–172.

Шляхто Е.В., Конради А.О. Персонализированная медицина. История, современное состояние проблемы и перспективы внедрения // Рос. журн. персонализ. мед. 2021. Т. 1 (1). С. 6–20.

Ahmed L., Constantinidou A., Chatzittofis A. Patients' perspectives related to ethical issues and risks in precision medicine: a systematic review // Front. Med. 2023. V. 10. P. 1215663. https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1215663

Akhoon N. Precision medicine: a new paradigm in therapeutics // Int. J. Prev. Med. 2021. V. 12. P. 12. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_375_19

Alvaro D. Examining the potential of precision/personalized medicine. 2022. https://www.pharmasalmanac.com/articles/examining-the-potential-of-precision/personalized-medicine

Babu M., Snyder M. Multi-omics profiling for health // Mol. Cell. Proteom. 2023. V. 22 (6). P. 100561. https://doi.org/10.1016/j.mcpro.2023.100561

Brothers K.B., Rothstein M.A. Ethical, legal and social implications of incorporating personalized medicine into healthcare // Person. Med. 2015. V. 12 (1). P. 43–51. https://doi.org/10.2217/pme.14.65.

Chakraborty S., Hosen M.I., Ahmed M., Shekhar H.U. Onco-multi-omics approach: a new frontier in cancer research // BioMed. Res. Int. 2018. V. 2018. P. 1–14. https://doi.org/10.1155/2018/9836256

Collins F.S., Varmus H. A new initiative on precision medicine // N. Engl. J. Med. 2015. V. 372 (9). P. 793–795. https://doi.org/10.1056/NEJMp1500523

Dai X., Shen L. Advances and trends in omics technology development // Front. Med. 2022. V. 9. P. 911861. https://doi.org/10.3389/fmed.2022.911861

Erdmann A., Rehmann-Sutter C., Bozzaro C. Patients' and professionals' views related to ethical issues in precision medicine: a mixed research synthesis // BMC Med. Ethics. 2021. V. 22. P. 116. https://doi.org/10.1186/s12910-021-00682-8

Goetz L.H., Schork N.J. Personalized medicine: motivation, challenges, and progress // Fertil. Steril. 2018. V. 109 (6). P. 952–963. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.05.006

Gotadki R. Global personalized medicine market overview // Market Res. Fut. 2024. https://www.marketresearchfuture.com/reports/personalized-medicine-market-2937

Gupta R., Srivastava D., Sahu M. et al. Artificial intelligence to deep learning: machine intelligence approach for drug discovery // Mol. Divers. 2021. V. 25 (3). P. 1315–1360. https://doi.org/10.1007/s11030-021-10217-3

Haidar C.E., Crews K.R., Hoffman J.M. et al. Advancing pharmacogenomics from single-gene to preemptive testing // Annu. Rev. Genom. Hum. Genet. 2022. V. 23. P. 449–473. https://doi.org/10.1146/annurev-genom-111621-102737

Hampel H., Gao P., Cummings J. et al. The foundation and architecture of precision medicine in neurology and psychiatry // Trends Neurosci. 2023. V. 46 (3). P. 176–198. https://doi.org/10.1016/j.tins.2022.12.004

Hassan M., Awan F.M., Naz A. et al. Innovations in genomics and big data analytics for personalized medicine and health care: a review // Int. J. Mol. Sci. 2022. V. 23 (9). P. 4645. https://doi.org/10.3390/ijms23094645

Horgan R.P., Kenny L.C. "Omic" technologies: genomics, transcriptomics, proteomics and metabolomics // Obst. Gynaecol. 2011. V. 13 (3). P. 189–195. https://doi.org/10.1576/toag.13.3.189.27672

Howard K. Genomics and personalized medicine marketing: how you can pull it off // Biotechnol. Blog. Market. 2019. https://www.digivid360.com/blog/marketing/genomics-personalized-medicine-marketing

Iriart J.A. Precision medicine/personalized medicine: a critical analysis of movements in the transformation of

biomedicine in the early 21st century // Cad. Saúde Pública. 2019. V. 35. P. e00153118. https://doi.org/10.1590/0102-311X00153118

Johnson K.B., Wei W.Q., Weeraratne D. et al. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care // Clin. Transl. Sci. 2021. V. 14 (1). P. 86–93. https://doi.org/10.1590/0102-311X00153118

Jonsson J.J., Stefansdottir V. Ethical issues in precision medicine // Ann. Clin. Biochem. 2019. V. 56 (6). P. 628–629. https://doi.org/10.1177/0004563219870824

Mathur S., Sutton J. Personalized medicine could transform healthcare // Biomed. Rep. 2017. V. 7 (1). P. 3–5. https://doi.org/10.3892/br.2017.922

McGrath S.P., Peabody A.E.Jr., Walton D., Walton N.A. Legal challenges in precision medicine: what duties arising from genetic and genomic testing does a physician owe to patients? // Front. Med. 2021. V. 8. P. 663014. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.663014

Might M., Crouse A.B. Why rare disease needs precision medicine – and precision medicine needs rare disease // Cell Rep. Med. 2022. V. 3 (2). P. 100530. https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2022.100530

Mikulic M. Global market for personalized medicine from 2015 to 2022 // Pharm. Prod. Market. 2017. https://www.statista.com/statistics/728124/global-market-for-personalized-medicine

Mohan V., Das A.K., Mukherjee J.J. et al. From individualized to personalized medicine in diabetes: an expert overview // J. Assoc. Physicians India. 2019. V. 67. P. 78–82.

Naithani N., Atal A.T., Tilak T.V.S.V.G.K. et al. Precision medicine: uses and challenges // Med. J. Armed Forces India. 2021a. V. 77 (3). P. 258–265. https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2021.06.020

Naithani N., Sinha S., Misra P. et al. Precision medicine: concept and tools // Med. J. Armed Forces India. 2021b. V. 77 (3). P. 249–257. https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2021.06.021

Personalized medicine: legal and ethical challenges / Eds J. Mansnérus, R. Lahti, A. Blick. Helsinki: Univ. Helsinki, 2020. 244 p. https://doi.org/10.31885/9789515169419

Prosperi M., Min J.S., Bian J., Modave F. Big data hurdles in precision medicine and precision public health // BMC Med. Inform. Decis. Mak. 2018. V. 18 (1). P. 139. https://doi.org/10.1186/s12911-018-0719-2

Raikwar S.P., Kikkeri N.S., Sakuru R. et al. Next generation precision medicine: CRISPR-mediated genome editing for the treatment of neurodegenerative disorders // J. Neuroimm. Pharmacol. 2019. V. 14 (4). P. 608–641. https://doi.org/10.1007/s11481-019-09849-y

Ramana P., Adams E., Augustijns P., Schepdael A.V. Metabonomics and drug development // Meth. Mol. Biol. 2015. V. 1277. P. 195–207. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2377-9_14

Roden D.M., McLeod H.L., Relling M.V. et al. Pharmacogenomics // Lancet. 2019. V. 394 (10197). P. 521–532. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31276-0

Romero-Otero J., García-Gómez B., Duarte-Ojeda J.M. et al. Active surveillance for prostate cancer // Int. J. Urol. 2016. V. 23. P. 211–218. https://doi.org/10.1111/iju.13016

Russell C., Rahman A., Mohammed A.R. Application of genomics, proteomics and metabolomics in drug discovery, development and clinic // Ther. Deliv. 2013. V. 4 (3). P. 395–413. https://doi.org/10.4155/tde.13.4

Sairamesh J., Rossbach M. An economic perspective on personalized medicine // HUGO J. 2013. V. 7. P. 1. https://doi.org/10.1186/1877-6566-7-1

Schena M., Shalon D., Davis R.W., Brown P.O. Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray // Science. 1995. V. 270. P. 467–470. https://doi.org/10.1126/science.270.5235.467

Song Y., Xu X., Wang W. et al. Single cell transcriptomics: moving towards multi-omics // Analyst. 2019. V. 144 (10). P. 3172–3189. https://doi.org/10.1039/c8an01852a

Stefanicka-Wojtas D., Kurpas D. Personalised medicine-implementation to the healthcare system in Europe (focus group discussions) // J. Person. Med. 2023. V. 13 (3). P. 380. https://doi.org/10.3390/jpm13030380

Strianese O., Rizzo F., Ciccarelli M. et al. Precision and personalized medicine: how genomic approach improves the management of cardiovascular and neurodegenerative disease // Genes. 2020. V. 11 (7) P. 747. https://doi.org/10.3390/genes11070747

Suchkov S., Notkins A., Marshall T. Personalized and translational medicine as a tandem of the new philosophy, updated mentality and technological platforms // Meta Gene. 2018. V. 17 (1). P. S1–S2. https://doi.org/10.1016/j.mgene.2018.05.029

Villalón-García I., Álvarez-Córdoba M., Suárez-Rivero J.M. et al. Precision medicine in rare diseases // Diseases. 2020. V. 8 (4). P. 42. https://doi.org/10.3390/diseases8040042

Vogenberg F.R., Barash C.I., Pursel M. Personalized medicine. Pt 1. Evolution and development into theranostics // Pharm. Therap. 2010a. V. 35. P. 560–576.

Vogenberg F.R., Barash C.I., Pursel M. Personalized medicine. Pt 2. Ethical, legal, and regulatory issues // Pharm. Therap. 2010b. V. 35. P. 624–642.

Wooller S.K., Benstead-Hume G., Chen X. et al. Bioinformatics in translational drug discovery // Biosci. Rep. 2017. V. 37 (4). P. 23–35. https://doi.org/10.1042/BSR20160180

Yuan B. What personalized medicine humans need and way to it – also on the practical significance and scientific limitations of precision medicine // Pharmacogenom. Person. Med. 2022. V. 15. P. 927–942. https://doi.org/10.2147/PGPM.S380767

Strategic Tasks and Prospects for the Development of the Resource Base of Healthcare and Health Saving through the Prism of Personalized and Precision Medicine

S. V. Suchkov[a, b, h, *], H. Abe[c], A. I. Berezhnoy[a], S. Murphy[d], V. S. Polyakova[a], M. V. Vasiliev[a], A. P. Ovchinnikov[a], D. Smith[e], V. M. Zemskov[g], A. S. Revishvili[f], V. S. Demidova[f], D. Scherman[g], A. P. Glinushkin[i], A. M. Zemskov[j], P. Barach[k], A. N. Suvorov[l]

[a]*Institute of Biotechnology and Global Health, Moscow, Russia*
[b]*Russian University of Medicine, Department of Clinical Allergology and Immunology, Moscow, Russia*
[c]*Abe Cancer Clinic, Tokyo, Japan*
[d]*Harvard Medical School, Boston, MA, USA*
[e]*Mayo Clinic, Rochester, MN, USA*
[f]*Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia*
[g]*Centre National de la Recherche Scientifique, Unité de Pharmacologie Chimique et Génétique d'Imagerie, Paris, France*
[h]*New York Academy of Sciences, New York, USA*
[i]*Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[j]*Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia*
[k]*Wayne State University, School of Medicine, Detroit, MI, USA*
[l]*Institute of Experimental Medicine, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*
**e-mail: ssuchkov57@gmail.com*

Current research indicates the importance of a personalized approach to health care, including quality preclinical laboratory diagnostics, preventive and prophylactic nutrition and the construction of individualized nutritional protocols, and well-being of the microenvironment as a whole. This article analyzes existing methods and technologies in the fields of personalized nutritional, medicine, precision fudomics and bioinformatics and their contribution to healthcare, reviewing key aspects of these fields and suggesting directions for further research and implementation.

Keywords: personalized and translational medicine, health protection and preservation, bioprediction and prevention