

С помощью биочернил 3D-принтер послойно создает полноценную человеческую кожу

# Медицина будущего

**Быстрее, точнее, предусмотрительнее:** что произойдет, если диагностику людей будут осуществлять алгоритмы, а роботы — проводить трансплантацию напечатанных на принтере органов?

Словно паук из пластика и стали, робот нависает над верхней частью туловища пациента: длинные иглы проникают сквозь кожу, и через них вводятся камеры, зажимы и скальпели. С их помощью на экране монитора хирург может удалить простату, прооперировать сердечные клапаны или отсечь фаллопиеву трубу. Даже раны он может зашить с помощью специального джойстика и ножных педалей.

## Интерфейс «человек-машина»

Сцена из рекламного ролика производителя медицинских роботов кажется захватывающей и устрашающей. Но к этому пора бы уже привыкнуть. Подобные устройства уже около 15 лет применяются в операционных — только в Германии, по данным производителя, их установлено более 60 штук. Поэтому больший интерес представляет другой участник процесса — врач-хирург. На видео ему достается лишь второстепенная роль. И даже если пока он управляет набором инструментов на мониторе с помощью специальных манипуляторов и ножных педалей, послание в целом ясно: и операционные залы не об-

ходятся без автоматизации. Рано или поздно машина заменит человека, которой ей сейчас управляет.

Разумеется, уже довольно давно существуют прототипы, которые могут выполнять определенные хирургические действия без вмешательства человека. Они используют фотоснимки и рентгенограммы, ультразвук и множество других сенсорных данных, чтобы на основании трехмерной функциональной модели пациента разрабатывать и реализовывать стратегии операций. Первые исследовательские группы уже работают над созданием нанороботов, которые перемещаются по кровеносной системе, охотятся на раковые клетки или поддерживают иммунную систему.

В последние годы медицина показала поразительное количество подобных сенсационных достижений. Тем не менее самые большие успехи еще впереди. Ведь процессы, начавшиеся 200 лет назад как ответ на вызовы промышленной революции, достигли своего расцвета в информационном веке. После того, как медицина объявила человека «ремонтируемым устройством», благодаря новейшим технологиям человек становится

информацией и тем самым — частью алгоритмической революции. Если техника и медицина станут единым целым, это может расширить границы человеческого существования. Медицина, если угодно, обещает нам светлое будущее.

### Индивидуальные человеческие «запчасти»

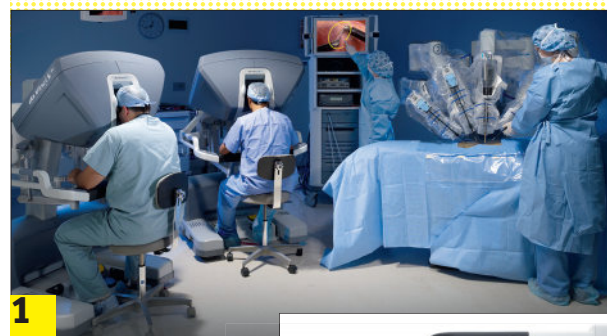
Совместное развитие высоких технологий и медицины можно свести к пяти основным процессам: алгоритмическая диагностика и профилактика заболеваний, автоматизация медицинских услуг, миниатюризация и мобилизация лабораторий, индивидуализация медицины и массовое индивидуальное производство человеческих органов. Объединяет все эти разработки то, что они становятся возможными благодаря достижениям в области алгоритмических данных и обработки сигналов, стабильному, быстрому и повсеместному подключению к Интернету, а также огромным успехам в сфере компьютеризированных медицинских исследований. Однако эти, не только медицинские вехи, не имели бы никакого значения без нового представления о человеке в цифровой форме, а именно — концепции организма как комплексной, принципиально подающей управление системе.

Следствия этой новейшей разработки, как описывает медицинский футурист и писатель Берталан Меско, являются весьма практичными: инструменты диагностики становятся все точнее и все чаще пациенты применяют их вместо врачей. Лечение все чаще может быть направлено на ситуации отдельных пациентов, иногда даже на уровне ДНК. В конце концов, все больше крупных операций и большинство мелких «планируются» компьютерами и выполняются роботами. Компоненты для них, а также персонализированные лекарства изготавливаются в лабораториях. В целом изменяются традиционные отношения между пациентом, врачом, лабораторией и машиной: медицина становится индивидуальной, более точной и более сложной. Этот принцип осуществляется вплоть до общественного уровня, где огромные массивы данных о состоянии здоровья большого числа индивидов объединяются в своего рода модель медицинского прогноза для всего населения.

### Тренд №1: алгоритмы лучше лечат

Человеческое тело слишком сложно, чтобы понимать его как целое. Гораздо легче определить неполадки в системе, например, с помощью алгоритмов для распознавания образов. Нарушение сердечного ритма, хаотический рост клеток кожи или изменение голоса могут свидетельствовать о возникшей проблеме. Путем обучения машины в медицине можно отличить норму от отклонения. Это обещает успех прежде всего в мобильной профилактике болезней благодаря самим пациентам. Так, в настоящее время разрабатывается несколько приложений, которые с помощью алгоритмов распознавания изображений могут идентифицировать проблемные родимые пятна, и они уже выполняют это точнее, чем когда-либо мог делать человек. Для этого не требуется даже очень хорошей камеры или дорогого смартфона.

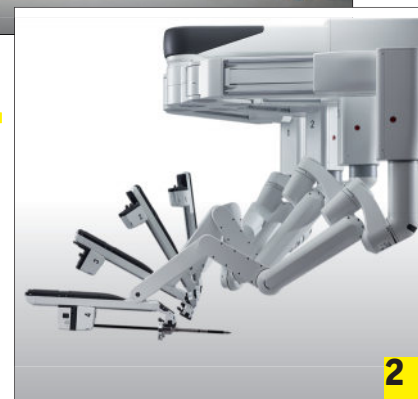
Этот метод является универсальным, независимо от того, используются ли визуальные данные, тоны сердца, особенности речи или абстрактные наборы данных. Путем сбора данных алгоритм учится отличать желательные образцы от нежелательных и затем с поразительной точностью находит их в новых данных. Благодаря тому, что этот подход настолько хорошо зарекомендовал себя, он в настоящее время также испытывается для раннего определения болезни Паркинсона и шизофрении на основании коротких записей речи. Тем не →



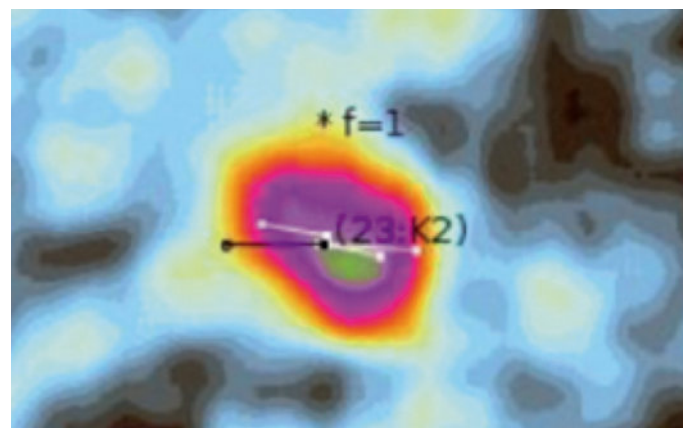
1

### Робот-врач

Команда хирургов работает **1** с пациентом на расстоянии. Операция с чрезвычайной точностью осуществляется с применением хирургической системы da Vinci **2**



2



### Искусственный интеллект распознаёт рак кожи

Система профилактики рака кожи с применением смартфона действует благодаря распознаванию изображений. Она обнаруживает хаотическое разрастание тканей на фото родимого пятна



Браслет Ava собирает данные о менструальном цикле женщины, чтобы на их основании определить дни, благоприятные для зачатия





Робот-«оригами», созданный в Массачусетском институте, разворачивается в желудке или кишечнике; управление и перемещение осуществляется с помощью внешнего магнитного поля

Роботы-сиделки оказывают помощь при уходе за пожилыми и больными людьми; их человекоподобный внешний вид создает доверительную атмосферу



### Соединенные проводами

Космонавты на борту МКС постоянно собирают собственные медицинские данные и испытывают операции с использованием электронных методов для оказания первой помощи в космосе



Из 3D-принтера появляются на свет не только «запчасти» для людей, но и «обновления»: более прочные, более эластичные

менее он также может применяться для анализа существующих массивов данных с целью поиска ранее неизвестных закономерностей, независимо от того, идет ли речь об нераспознанных симптомах, скрытых взаимодействиях или даже мошенничестве с рецептами.

Впрочем, у алгоритмов уже появляются противники: поскольку алгоритмы находят связи, не улавливаемые ни одним человеком, они становятся непонятными (см. блок «Проблема «черного ящика» справа внизу).

### Тренд №2: роботы-хирурги и наномедицина

Компьютеры уже довольно давно оказывают помощь при планировании хирургических вмешательств, а запрограммированные роботы, такие как хирургическая система da Vinci, ассистируют людям-хирургам, обеспечивая выверенное перемещение инструментов. Их потенциал увеличивается вместе с точностью конфигурации их моделей пациентов. Благодаря новым методам распознавания изображений они теперь настолько точны и современны, что роботы могут проводить операции частично или полностью автоматически. Так, робот Smart Tissue Autonomous Robot (STAR) под наблюдением сшивает мягкие ткани с миллиметровой точностью. Свои выходные данные он получает от системы флуоресценции и передачи изображений в 3D, а также датчика давления.

В будущем медицинские наноботы будут выглядеть следующим образом: действующие подобно рою устройства размером с клетку, которые самостоятельно выполняют «профилактические работы» в организме, например, помогают при наращивании костей или отмечают клетки опухоли для иммунной системы. При этом наномедицина будет использовать механизмы тела: наноботы плывут в жидкостях организма к своей цели, как мини-«бродяги» прикрепляются к аутогенным клеткам или располагаются и формируют ткань вокруг органов, нуждающихся в помощи.

### Тренд №3: из приемной — в гостиную

Основой для медицины будущего представляются новые объемы данных, в которые также вносят свою долю и сами пациенты, благодаря новым инструментам диагностики и своей инициативе к самостоятельным измерениям. В этом случае смартфон может внезапно сообщить: лучше сходи к врачу, твое сердце вытворяет странные вещи! Традиционные места медицинского приема и в самом деле меняются: диагностика производится рядом с пациентом или незаметно по его профилю данных в вычислительном центре. Кроме того, существует также целый комплекс биодатчиков и мини-лабораторий, которые способны выполнять сложные исследования без профессиональных знаний своих пользователей. Например, пациенты с маниакально-депрессивным психозом должны измерять содержание лития в крови с помощью хемосенсоров, а мужчины, желающие иметь детей, — качество спермы.

В виде проглоченной нанопроволоки подобные микролаборатории могли бы исследовать весь кишечник на биомаркеры раковых опухолей и, при их наличии, отправить уведомление на смартфон (а также согласовать дату посещения проктолога). Благодаря объединению устройств в единую сеть медицинский персонал сможет управлять все большим числом операций дистанционно, в том числе с помощью хирургических роботов. Подобные массивы данных смещают фокус с лечения на профилактику. Однако они влекут за собой новые требования к защите данных и риски конфиденциальности.

ФОТО: Universidad Carlos III de Madrid; Thomas Spillett/istockphoto/Wikimedia/CC BY-SA 4.0; dpa/Picture Alliance/AP Photos/Eric Risberg; Northwestern University; NASA; Fraunhofer IPA; Melanie Gonick/MIT

**Тренд №4: биологические имплантаты из 3D-принтера**

Пластиковые протезы из 3D-принтера — это лишь начало: не только печатные оригиналы делают все более сложными и бионическими (например, модель ноги козы, смоделированная командой исследователей). Материалы тоже становятся более интеллектуальными: новые протезы экономят энергию, передают сигналы обратной связи усилий в нервную систему и даже могут перемещаться с помощью мускульных импульсов.

3D-печать также увеличивает производство биоматериалов. Так, некоторые исследовательские группы представили методы изготовления полностью совместимой человеческой кожи: с помощью одного из них кожу «печатают» непосредственно на рану, которая ранее была измерена с помощью лазера. Другие послойно наносят в кюветы кожные структуры, которые в дальнейшем могут свободно использоваться. Преимущества аддитивной печати в том, что с помощью подобных методов могут также создаваться сложные 3D-структуры из различных материалов, например, целые органы.

**Тренд №5: индивидуальное лечение**

Эти четыре разработки встречаются в супер-тенденции персонализированной медицины: вместо диагностики и терапии, направленных на помощь как можно большему числу людей, развиваются методы индивидуального лечения и производятся медикаменты для отдельных пациентов. Например, при лечении рака легких это уже осуществляется посредством так называемой «таблеточной терапии»: при этом с помощью генетического исследования определяется, существует ли определенная мутация клеток в опухоли, а затем на нее воздействуют специально подобранными медикаментами с меньшим числом побочных эффектов.


Персонализированная медицина пока находится в начале своего пути. Однако на горизонте уже ждет генетика. В конечном итоге, благодаря новейшему методу редактирования генома CRISPR/Cas, который отличается низкими затратами и пригодностью для использования в массовом порядке, будет применяться индивидуальное вмешательство в генетический материал пациентов и возбудителей болезней.

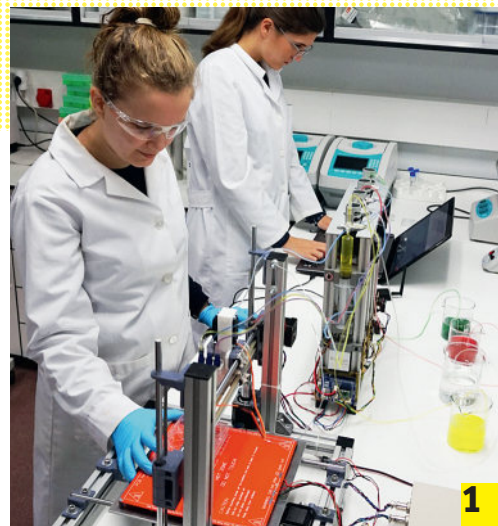
Актуальная тема дискуссии: фармацевтическая промышленность находится в лихорадочном поиске новых биомаркеров, в том числе молекулярных следов данных или даже таких, из которых могут развиваться опасные болезни, протекающие без симптомов.

**Будущее для всех**

История медицины всегда была и историей технического успеха. В наши дни, когда все больше стираются границы между биологией и технологиями, это могло бы означать новый порядок вещей для человека: считаются ли в этом случае болезнями пороки, ранее оцениваемые как природные? Если машины «заболевают», можете ли вы подхватить от них вирусы?

При этом не стоит забывать: величайшие открытия медицины никогда не привлекали всеобщее внимание. Искусство врачевания всегда расцветало именно в тот момент, когда могло принести наибольшую пользу человечеству, то есть тогда, когда оно становилось дешевле, проще, доступнее и универсальнее. И, возможно, это является одной из главных задач медицины будущего: обеспечить возможность исцеления всем, а не только избранным, с огромными затратами и невероятными методами.

Медицина будущего должна оцениваться по результату, а не по внешнему воздействию, поскольку ее задачей является лечение болезней, а не празднование сносшибательных успехов или купание в технологических инновациях. 



1

**По размеру**

Полностью совместимая биокожа из 3D-принтера **1** или элементы, созданные точно по размерам по методу CRISPR/Cas **2**: началась эра индивидуальной медицины

**По массе**

Сети фастфуда используют высокие технологии для того, чтобы тайком сделать свою еду более полезной. Это могло бы помочь людям, мало заботящимся о здоровье, питаться лучше

**Проблема «черного ящика»**

На машинное обучение возлагаются большие медицинские надежды: с помощью этого метода в массивах данных с высокой степенью надежности могут определяться известные образцы, например, нетипичное разрастание тканей, изменения речи или неблагоприятные особенности. Однако это рискованный метод! Распознавание образов, в отличие от традиционных методов, едва ли является убедительным для людей. Статистически верные, но совершенно бессмысленные взаимосвязи возникают вследствие искаженных данных подготовки

алгоритма или большого разнообразия данных. Таким образом, дело доходит до фатальных ошибокных диагнозов, причины которых остаются необъяснимыми. Поэтому исследователи данных (например, Рич Каруана) предупреждают от слепой уверенности в алгоритмических «черных ящиках». Вместо этого необходимо выбирать традиционные методы, даже если они являются менее точными. И еще: компании оберегают «черные ящики» от независимого контроля и тем самым монополизуют знания. Здоровье не должно становиться тайной.