

Виртуальные технологии в моделировании сердца

Специалисты из сфер биоинженерии, нейротехнологии и медицины объединяют свои усилия в поиске новых решений для улучшения здоровья и борьбы с различными заболеваниями. Какие горизонты открывает медицина будущего? Чего достигла современная инженерия в кардиологии?



ДЕЛА СЕРДЕЧНЫЕ

Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются самой частой причиной смерти во всем мире. Ежегодно от ССЗ умирают 17 млн людей, происходит 32 млн инфарктов миокарда и приступов стенокардии, 40% смертей обусловлены внезапно возникшей аритмией. К факторам риска относятся артериальная гипертензия, сахарный диабет, ожирение и недостаточная физическая нагрузка (малоподвижный образ жизни — гиподинамия). При этом 85% ССЗ в мире приходится на развивающиеся страны. В Украине каждый второй человек страдает от ССЗ. В США самая большая часть бюджета здравоохранения выделяется на лечение ССЗ, поэтому неудивительно, что смертность от подобных болезней за последние 50–60 лет в этой стране снизилась на 70%, а от инсульта — на 80%. Примечательно, что медицинские нововведения, повлиявшие на такое существенное снижение смертности, связаны преимущественно со сферой инженерных и хирургических достижений.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ КАРДИОЛОГИЯ

Невозможно изучать работу сердца у живого человека экспериментальным путем, поэтому на помощь приходит вычислительная кардиология. Сотрудники американского университета Джона Хопкинса построили виртуальную 3D-модель сердца по МРТ-снимкам. Модель учитывает множество факторов и отображает физические, электрические и даже химические свойства конкретного сердца. Это позволяет подробно определить геометрию сердца, ориентацию волокон, распространение электрических волн и другие процессы, участвующие в работе этого органа. Предполагается, что методологию построения виртуального сердца можно будет использовать в клинике для диагностики и лечения. Разработана технология для прогнозирования возникновения аритмии. У людей, которые перенесли инфаркт миокарда, в сердечной ткани образуются рубцы, что может привести к возникновению аритмии. В современной медицине эту проблему решают путем установки дефибрилляторов. Для определения необходимости в проведении такого вмешательства измеряют фракцию выброса, то есть определяют, сколько крови выбра-

сывается во время каждого сердцебиения. Однако это не очень надежный параметр — многим пациентам дефибриллятор не нужен, но им приходится проходить болезненную операцию по его имплантации. Новая технология надежнее остальных методов, к тому же она безболезненна. На основе снимков МРТ моделируют сердце пациента с поврежденными зонами сердечной ткани, после чего изучают распространение волны возбуждения. Если на виртуальном сердце будет вихревое распространение волн, характерное для аритмии, значит риск аритмии повышен.

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Американские ученые из Калифорнийского университета в Сан-Диего создали компьютерную модель сердца, с помощью которой можно поэтапно наблюдать как химические процессы влияют на здоровье миокарда. Ведь с помощью таких классических методов диагностики сердечных заболеваний, как эхокардио- и электрокардиография (ЭКГ) невозможно выявить самые ранние проявления заболевания. Американские исследователи надеются обнаружить небольшие изменения на уровне ткани и клеток при колебаниях уровня кальция, натрия и других веществ в крови. Модель способна показывать не только ткани отдельно, но и увидеть, что происходит в здоровом сердце, когда в нем начинаются патологические процессы. Уже удалось выяснить, что хроническую сердечную недостаточность вызывают замедления обменных клеточных процессов в верхней части сердца. Также исследователи создали специальный тест, который будет имитировать работу сердца человека с сердечной недостаточностью во время выполнения физических упражнений, чтобы определить какие нагрузки наиболее опасны. Это поможет в профилактике инфаркта миокарда. Кроме того, виртуальное сердце послужит для разработки новых ЛС для лечения сердечной недостаточности.

ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОРОКОВ СЕРДЦА У НОВОРОЖДЕННЫХ

Примерно один ребенок из ста рождается с пороком сердца. Сердце новорожденного маленькое, размером со сливу, поэтому даже специалистам подчас трудно определить природу дефекта. В Дании в Уни-

верситетском госпитале Орхуса совместно с Центром передовых разработок в области визуализации разработана технология виртуальной реальности, которая помогает врачам диагностировать порок сердца у новорожденных. Система превращает плоские изображения обычного магнитно-резонансного томографа в гигантскую трехмерную вращающуюся модель детского сердца, которую хирурги могут изучать под любым углом. Система виртуальной реальности позволяет свести к минимуму элемент неопределенности в диагностике. Кроме того, трехмерное изображение придает наглядности объяснениям врачей в разговоре с родителями ребенка. Виртуальную модель детского сердца могут наблюдать одновременно все члены медицинской команды. Это позволяет им обсуждать диагноз и прийти к единому мнению гораздо быстрее, чем раньше. Исследование показало, что использование объемного изображения сердца помогает выявить дефекты, которые врачи, изучающие двухмерные изображения, иногда не обнаруживают.

МОДЕЛЬ СЕРДЦА ДЛЯ СТУДЕНТОВ И ХИРУРГОВ

Группа врачей из Института Сердца в Лондоне и компьютерные аниматоры из компании Glassworks создали сверхреалистичную компьютерную модель бьющегося сердца, которую можно контролировать с помощью компьютерной мыши или клавиатуры. Это позволяет изучать анатомию сердца с помощью тех методов, которые невозможно применить у реальных пациентов. Наблюдатель может вращать виртуальный орган вокруг любой оси и рассматривать его изнутри и снаружи. Сердце также можно устанавливать в режим нормального сердцебиения или отображать эффекты различ-

ных состояний и болезней. Данная объемная модель является не только отличным обучающим пособием для студентов-медиков, но и полезным инструментом для кардиологов. В Израиле прошли клинические испытания технологии трехмерного голографического сердца, которая поможет кардиохирургам. Объемное полноразмерное голографическое изображение сердца точно передает анатомию и позволяет его трогать, поворачивать и совершать различные манипуляции, например, виртуально разрезать.

НАПЕЧАТАННОЕ СЕРДЦЕ

Причиной ССЗ является аритмия. Чтобы изучить предпосылки к развитию аритмии, необходимо учитывать сложную структуру сердечной ткани. Разработана компьютерная модель, которая имитирует форму и взаимодействия реальных клеток. Трехмерную модель сердца распечатывают на 3D-принтере и создают гибкую матрицу, повторяющую форму распечатанного сердца. Особенности функционирования сердечной ткани заключаются во взаимодействии фибробластов, кардиомиоцитов и структурных белков. Такую сложную структуру и попытались воспроизвести в лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ и Гентского университета (Бельгия). Матрица содержит

Невозможно изучать работу сердца у живого человека экспериментальным путем, поэтому на помощь приходит вычислительная кардиология

сенсоры ЭКГ, растяжения, pH, температуры и микроскопический светодиод. Ученые высеивали культуру из сердечных клеток двух типов: кардиомиоцитов и фибробластов. Сначала клетки высаживали изолированно друг от друга, потом из них формировали единую многослойную подложку из нановолокон. Высаженные клетки вытягивались вдоль волокна, так как это происходит в сердце. Ученые собрали статистические данные в отношении клеточных форм в четырех разных условиях и взаимодействии клеток друг с другом и подложкой. Эти данные использовали, чтобы параметризовать модель. На полученном виртуальном монослое сердечной ткани можно моделировать вероятность аритмии, изменяя разные факторы.

ТКАНЕВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Тканевая инженерия может помочь в разработке индивидуализированного лечения. Американские инженеры работают над созданием тканей с прогнозируемой плотностью и поведением, что позволит использовать их для тестирования лекарств. Из индуцированных плюрипотентных стволовых клеток получают образцы человеческих тканей для проведения клинических исследований. Из клеток кожи людей с наследственным заболеванием формируют ткани для создания моделей этих заболеваний в лаборатории, что позволяет лучше понимать болезни и эффективнее с ними бороться, быстрее находя лекарства для их лечения. Технологии тканевой инженерии объединяются с микрофлюидикой. Это направлено на создание модели целого организма с множественными системами органов для проверки воздействия лекарств и разных методов лечения. В будущем тканевая инженерия позволит полностью изменить процесс тестирования лекарств на каждом его этапе: создание моделей болезней для быстрого подбора состава препарата, широкое использование моделей человеческих тканей для тестирования в лаборатории, уменьшение количества испытаний на животных и клинических исследований с участием человека, индивидуализированное лечение. Благодаря этому ускоряется обратная связь между созданием нового соединения и пониманием того, как оно действует на человеческий организм. Данный процесс фактически преобразует биотехнологию и фармакологию в информационную технологию, помогая обнаруживать и оценивать препараты быстрее, дешевле и эффективнее. Это коренным образом изменит рынок ЛС.

Татьяна Кривомаз, канд. биол. наук, д-р техн. наук, профессор

