

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

APPLICATION OF 3D TECHNOLOGIES IN DIAGNOSTIC MEDICINE

Авторы: Виденева Анастасия Петровна (Северо-Кавказский федеральный университет)

Аннотация: В статье отображена динамика развития 3D-технологий в медицине, в частности история создания и совершенствования томографии. Приведены краткие исторические факты относительно новейших разработок. Отмечен переход от исследований в области физики к диагностической медицине. В статье отражены основные проблемы, с которыми сталкиваются на данных этапах, а также приведены способы их решения. Методы исследования представлены анализом и обобщением данных информационных источников. Отмечены основные направления в перспективе развития 3D-принтеров.

Ключевые слова: медицинская диагностика, компьютерная томография, воксел, трехмерное изображение, постпроцессинг, трехмерный рендеринг, 3D-печать.

Annotation: The article displays the dynamics of the development of 3D-technologies in medicine, in particular, the history of the creation and improvement of tomography. Brief historical facts about the latest developments are given. A transition from research in the field of physics to diagnostic medicine is noted. The article reflects the main problems encountered at these stages, as well as ways to solve them. Research methods are presented by analysis and generalization of information sources. The main directions in the future development of 3D printers are noted.

Keywords: medical diagnostics, computed tomography, voxel, three-dimensional image, post-processing, three-dimensional rendering, 3D printing.

В наше время любое медицинское вмешательство не обходится без предварительной диагностики. Медицинская диагностика – это сравнительно молодая, но в то же время обширная отрасль здравоохранения. Данному медицинскому направлению отводят важную роль, которая заключается в постановке диагноза, заключении о болезни, состоянии пациента. Важно, что в разработке современных диагностических методов все дальше уходят от инвазивных процедур, внедряя как альтернативу неинвазивные методы исследования. Это гораздо лучше для самого пациента, однако при использовании неинвазивных методов исследования возникают трудности в интерпретации результатов и в степени качественного соответствия.

Цель диагностической медицины – постановка диагноза за относительно короткое время с минимальным риском и неудобствами для пациента. Цель данной статьи – изучение и понимание механизмов получения диагностически значимых сигналов и пути их последующего преобразования.

На сегодняшний день к основным неинвазивным методам исследования относятся рентгенологическая, ультразвуковая, магнитно-резонансная диагностика. Данные методы позволяют визуализировать состояние внутренних органов, внутриутробное развитие плода, особенности кровообращения, метаболизма тканей.

Рентгенологическая диагностика начинает свое развитие сразу после открытия В. К. Рентгеном X-лучей в 1895 году[1]. Невидимые X-лучи могли проходить сквозь человеческое тело и засвечивать фотопластинку, оставляя на ней изображение исследуемого участка. Немного позже, в 20-х годах, французский врач Бокаж изобрел первый томографический сканер[2]. Данное устройство позволяло получить изображение одного среза заданной глубины. С этого момента развивается томография – метод получения послойного изображения с помощью рентгеновских лучей. Суть метода заключается в том, что вращающаяся рентгеновская трубка пропускает сквозь объект пучки гамма-квантов. Неоднородность структур объекта обуславливает различную способность к поглощению излучения, т. е. одни ткани почти полностью пропускают лучи, другие в некоторой степени ослабляют. Коэффициент линейного ослабления гамма-лучей определяется по шкале Хаунсфилда. По разности рентгеновской плотности тканей формируется изображение слоя, затем оно выводится на экран монитора. Соответственно мы можем получить изображение одного слоя в данной плоскости, затем второго, третьего и т. д. Диагностика тем точнее, чем лучше и отчетливее полученный снимок. А еще лучше, когда полученный результат представлен не в виде снимка, а в виде объемного изображения органа – 3D-изображения. Подобный шаг был совершен спустя десятилетия. В 60-х годах прошлого века В. А. Ивановым была подана заявка на изобретение ЯМР-томографа с указанием принципа расчета двух- и трехмерных изображений по проекциям полученных одномерных. ЯМР-томограф позволяет получать изображения на основе интенсивности испускания энергии ядрами водорода. Почему водорода? Потому как человек в среднем на 65% состоит из воды, в молекуле которой целых 2 атома водорода. Строго ориентированные в магнитном поле атомы водорода получают импульсы резонансной частоты, в результате чего приобретают способность излучать. Затем полученные кванты энергии с помощью полупроводниковых преобразователей переводятся в последовательность сигналов, формирующих изображение. Учитывая, что разные ткани содержат разное количество воды, сигналы от одних объектов будут более интенсивными, а от других менее интенсивными, что графически будет фиксироваться. Как мы видим, принцип получения изображения не изменился, однако добавился математический аппарат. Именно математический расчет сложной трехмерной системы координат позволил получить не серию отдельных снимков, а трехмерное изображение. Однако произошло это несколько позже, в 1973 году, когда был изобретен магнитно-резонансный томограф Полом Лотербургом. Математический аппарат был усовершенствован Питером Мэнсфилдом[3]. За решающий вклад в изобретение МРТ оба ученых были удостоены Нобелевской премии в начале 2000-х. Неслучайно, что именно в период создания и разработки компьютеров происходит совершенствование МРТ с использованием сложных алгоритмов.

В 2010 году создана четырехмерная электронная томография, которая заключается в трехмерном отображении динамических процессов[4]. Современные компьютерные и магнитно-резонансные томографы позволяют получать 3D-

изображения органов, отследить их деятельность, оценить состояние, поставить предварительную оценку о характере динамических процессов. Несмотря на различный способ получения сигналов, принцип формирования изображения в КТ и МРТ аналогичен. Так, например, разные ткани имеют разные физические и физико-химические свойства. Соответственно, амплитуда сигналов, которые они могут генерировать или отражать, будет варьироваться. Это будет отображено в проекции органа – его изображении на мониторе. Несколько датчиков позволяют одновременно получать несколько изображений интересующего органа в различных плоскостях. При этом орган визуально делят на воксели, и от каждого вокселя отдельно принимается информация с последующей оценкой и обработкой[5]. Важно понимать, что воксел – это трехмерный аналог пикселя в двухмерном пространстве.

Структура воксельного представления данных может быть бинарной, т. е. интерпретация осуществляется при помощи двоичной системы с двумя возможными значениями – 0 или 1. Данная модель используется редко, так как не позволяет дифференцировать множественные характеристики. Чаще используют модель октантного дерева, в которой воксел имеет 8-битовый объем. Т. е. каждый узел (воксел) имеет 8 дочерних, соответствующих его разбиению на восемь частей. Это дает более расширенный диапазон значений по шкале интенсивности, а значит повышает качество формируемого изображения. В медицинской диагностике используются различные преобразовательские программы, которые поддерживают трехмерный формат. Так, например, в компьютерной томографии идет анализ поглощения рентгеновского излучения от каждого вокселя с последующей реконструкцией изображения формата DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Процесс конвертирования данного изображения в трехмерное производится при помощи программ: 3DSlicer4.8, InVesalius 3.1, Implastation, Blender. Данные программы не требуют установки специального оборудования и работают на платформах Windows 10/8.1/8/7/Vista, Linux, MacOS (10.11). Они используют последовательность 2D-изображений формата DICOM с последующей реконструкцией в 3D. Причем программы позволяют проводить параметрический анализ, суть которого заключается в получении пространственных характеристик объекта. Формирование изображения происходит следующим образом: полученные двухмерные файлы образуют стопку, по которой в процессе сегментации преобразуются в сетку. Элемент сетки имеет координаты OX, OY, OZ, каждая из которых представляет собой угол наклона к выбранной нормали. Далее трехмерные изображения могут служить сеткой для создания анатомических моделей при помощи 3D-печати[6]. Двухмерные изображения иначе называют мультипланарными, или многоплоскостными реконструкциями, а процесс преобразования – трехмерный рендеринг. Процесс производится на основе уравнения рендеринга – сложного дифференциального инструмента, позволяющего рассчитать количество испущенного излучения от заданной точки по заданному направлению. Суть процесса заключается в формировании «стопки» полученных тонких срезов и постпроцессинге изображения. На этапе постпроцессинга возникают трудности, связанные как с технической стороной, так и с процессом интерпретации. Во-первых, важна толщина среза каждого двухмерного изображения, так как при формировании «стопки» по контуру исследуемого органа будет просматриваться «ступенька», что потребует сглаживания границ. Данное явление возникает тогда, когда толщина среза больше размеров вокселя. Причем если толщина среза больше

размеров воксела, то приходится автоматически добавлять срезы. Это может служить своеобразной неточностью в диагностике. Помочь повысить точность изображений может внутривенное контрастирование. Границы изображения будут более четкими, так как контрастная полость будет отражать лучи. При этом желательно использовать минимальную толщину среза. Кроме того, существует метод криволинейной реконструкции – «выпрямление» исходного объекта, имеющего изогнутый вид в нескольких КТ-срезах, и его проецирование на плоскость. Данный вид реконструкции применим для ряда изогнутых объектов, расположенных под углом в плоскости, например деформированный позвоночник, поджелудочная железа, крупный сосуд. Это также имеет некоторую погрешность. Во-вторых, при построении трехмерного изображения возникают трудности в анализе теневых сторон объекта. Отображение затененной поверхности является технически сложным, так как информация о рельефе органа или ткани формируется при первом прохождении луча. Однако если луч прошел через ткань, попал в зону тени и вновь прошел через другую ткань, на экране появится изображение области с высокой плотностью, которая будет складываться из плотностей исходных зон. Причем отличительной чертой областей с «суммированной плотностью» будет являться превышение порогового значения возможной плотности данной ткани, что может существенно помочь при детекции теневой поверхности. Также КТ-срезы могут содержать воксели с наименьшей или наибольшей плотностью с последующим формированием проекций минимальной и максимальной интенсивности. Так, например, визуализация костей и контрастированных органов осуществляется при помощи проекции наибольшей интенсивности, а изображение бронхов строится на основе проекции минимальной интенсивности. Это существенно облегчает интерпретацию результатов, но главный минус данного упрощения – эффект суммации. Перекрытие изображений структур затрудняет их разграничение, однако метод позволяет акцентировать внимание на отображении только интересующей исследователя области.

Полученные трехмерные изображения могут быть распечатаны на 3D-принтерах. 3D-принтер представляет собой устройство с числовым программным управлением, способное воссоздавать трехмерные копии электронных изображений. Появление данной технологии – это большой скачок не только в образовательной медицине, но в ортопедии и протезировании. В качестве матрицы для распечатки используют снимки КТ и МРТ. В качестве технологии позиционирования используют декартову систему. Печать осуществляется при помощи жидкой или порошковой краски. В качестве краски могут быть использованы водоросли, целлюлоза, титан, а также суспензия живых клеток для печати трансплантируемых органов. Принцип работы основан на последовательном наложении слоев материала по заданным координатам. В случае декартовой системы позиционирования, печать производится благодаря трем взаимно перпендикулярным направляющим. Причем вероятность ошибки исключена – устройство работает точно по заданному алгоритму. На данный момент распечатаны и имплантированы некоторые кости черепа, бионические протезы конечностей, элементы среднего уха. Печать клеточной суспензией позволила воспроизводить целые органы, успешно функционирующие у лабораторных животных. Например, таким образом была распечатана щитовидная железа и трансплантирована в организм лабораторной мыши. Причем орган функционирует успешно. Нельзя не сказать о расширении возможностей образовательной медицины – 3D-печать позволяет

воссоздать копии анатомических структур и работать с ними, имитируя хирургический или иной инвазивный процесс.

Таким образом, хотелось бы сказать, что любая наука претерпевает процессы дифференциации и интеграции, в том числе и медицина. В нашем случае, развитие медицинской диагностики происходит в результате совместной работы врачей, физиков, математиков, радиобиологов, инженеров, программистов. Создание современного компьютерного томографа – это совместный результат работы многих ученых за более чем 100-летний промежуток времени. И развитие медицинских диагностических технологий продолжается, поскольку имеются несовершенства оборудования. Это проблема в интерпретации полученных данных, неточности сканирования. Однако компьютеризация систем позволит повысить точность работ, так как будет исключен «человеческий фактор». Одним из таких примеров является 3D-принтер, в основе работы которого лежит принцип четкого исполнения заданного алгоритма. Несомненно, будет происходить развитие трехмерной печати с расширением спектра использования данной технологии. Уже сейчас 3D-принтеры способны распечатывать сложные детали авиационных конструкций, воспроизводить с помощью живой культуры клеток органы. Причем создание органа на 3D-принтере заключается лишь в построении модели «живого каркаса», а в процессе самоорганизации клетки самостоятельно «достраивают» органые структуры. Поэтому можно сказать о том, что в XXI веке наука направлена прежде всего на развитие междисциплинарных направлений, что подтверждают сделанные открытия и успешные эксперименты.

Список литературы

1. Мельченко Е. А. Общая и медицинская радиобиология: учебное пособие / Е. А. Мельченко. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2013. – 265 с.
2. Марусина М.Я. Современные виды томографии. Учебное пособие / М. Я. Марусина, А. О. Казначеева. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 – 132 с.
3. История и перспективы развития магнитно-резонансной томографии / М. Р. Мадиева [и др.] // Наука и здравоохранение.- 2018.- Т. 20.- № 6.- С. 169-175.
4. Лукьяненко П. И. Исторические аспекты магнитно-резонансной томографии в России / Лукьяненко П. И. // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2016. - № 2. – С. 59-67.
5. Корниенко Н. А. Актуальные вопросы использования 3D-технологий в медицине. Н. А. Корниенко, А. А. Корниенко, Е. В. Чаплыгина // Современные проблемы науки и образования. – 2017. - № 6. – С. 106.
6. Скрипачев В. О. Формат данных DICOM и возможности его обработки методом IDL / В. О. Скрипачев, А. П. Пирхавка // Геоматика. – 2014. - № 3. – С. 32-36.