

ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

© Коллектив авторов, 2017
УДК 001.8:611

Г.П.Котельников, А.В.Колсанов, В.Д.Иванова, Б.И.Яремин, С.С.Чаплыгин, А.К.Назарян

НОВЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ И СИНТЕЗЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ (ANATOMIA IN SILICO)

Кафедра оперативной хирургии, клинической анатомии с курсом инновационных технологий (зав. — проф. А.В.Колсанов), Центр прорывных исследований «Информационные технологии в медицине», ГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»

Современная медицина — это система научных знаний и практической деятельности, направленных на сохранение и укрепление здоровья людей, предупреждение и лечение болезней [6, 7]. Специфичность и своеобразие деятельности врача определяется тем, что объектом его деятельности является человек, его жизнедеятельность в норме и патологии. Для любой науки связь теории с практикой является важнейшим законом. Представителем теоретической основы, фундаментом клинической практики является анатомия человека, которая подразделяется, соответственно употребляемым ею методикам изложения, на систематическую и топографическую. Топографические препараты в отличие от классических анатомических демонстрируют отдельные системы тканей (мышцы, артерии, вены и кости) в их положении относительно друг друга. К этим же топографическим препаратам относятся и разрезы, получаемые на замороженных трупах. Основоположником русской школы топографоанатомов стал Н.И. Пирогов, который впервые использовал рассечение замороженных (ледяных) трупов для изучения взаиморасположения внутренних органов, которые при обычном вскрытии существенно меняли своё естественное расположение. Результаты вскрытий учёный зарисовывал, создав атлас под названием «Топографическая анатомия, иллюстрированная разрезами, проведёнными через замороженное тело человека в трёх направлениях». Таким образом, топографическая (клиническая) анатомия является научно-прикладной дисциплиной, теоретической основой для оперативной хирургии [8]. Фактически, изображения

в атласе предвосхищали появление подобных изображений, полученных лучевыми томографическими методами исследования, неразрушающими внутреннюю структуру объекта [1, 7, 11].

То есть сначала человек научился отображать рентгеновские снимки на экране компьютерного дисплея, затем стал управлять рентгеновскими аппаратами через компьютер. Далее появилась система, позволяющая вести централизованный контроль и управление цифровыми рентгеновскими снимками на территориально удалённом расстоянии. Она была названа «Системой архивирования и передачи медицинских изображений» (Picture Archiving and Communication Systems — PACS).

Выход в широкое междисциплинарное пространство с участием представителей разных наук и активным привлечением инновационных компьютерных технологий способствует прочному усвоению знаний о морфологических структурах организма человека и процессах, происходящих в них, что выводит на более высокий качественный уровень изучение анатомии с привлечением интраскопических методов исследования человека [3, 10]. Недаром же XXI в., в котором мы живём, называют веком интеграции наук. Главнейшим итогом овладения анатомическими знаниями является именно возможность их практического применения с целью адекватного воздействия на человеческий организм в процессе лечения, необходимом для возврата человека к условиям благоприятной и гармоничной жизни [9, 12].

Цель настоящей работы — значительно улучшить качество преподавания классической и клинической анатомии с привлечением инновацион-

Сведения об авторах:

Котельников Геннадий Петрович (e-mail: info@samsmu.ru), *Колсанов Александр Владимирович* (e-mail: avkolsanov@mail.ru), *Яремин Борис Иванович*, *Иванова Валентина Дмитриевна*, *Чаплыгин Сергей Сергеевич*, *Назарян Айкуш Карлосовна* (e-mail: aikush@samsmu.net), кафедра оперативной хирургии, клинической анатомии с курсом инновационных технологий, Центр прорывных исследований «Информационные технологии в медицине», Самарский государственный медицинский университет, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

ных компьютерных технологий и обеспечить комплексный подход в синтезе и анализе анатомических и диагностических данных для клинической практики, именуемой вычислительной анатомией, *computational anatomy*, или *anatomia in silico*.

Для достижения данной цели были применены следующие группы методов исследования: морфологические, клинико-диагностические и виртуальные.

Морфологические методы исследования — анатомическое препарирование, морфометрия, включающая позиционные данные всех анатомических структур человеческого организма в норме, карты текстур и эластических свойств тканей органов, полученных при помощи тензометрического стенда.

Клинико-диагностические и виртуальные методы исследования основаны на анализе результатов ультразвукового дуплексного сканирования с цветным картированием и мультиспиральной компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии. Используются технические параметры реальных эндоскопических установок для хирургии, технологии вычислительной гемодинамики, нейросетевой анализ.

Компьютерную томографию выполняли на базе 64-срезового томографа Toshiba Aquilion 64 («Toshiba», Япония) в клиниках Самарского государственного медицинского университета. Полученные данные с помощью системы передачи и архивирования DICOM конвертировали далее в полигональную модель.

Ультразвуковое сканирование выполнено на базе клиник СамГМУ на мультифункциональном аппарате General Electric («General Electric», США).

Для математического моделирования и создания трехмерной модели человека применяли сканирование препарированных анатомических структур человеческого организма 3D-сканером Solutionix Rexcan III («Solutionix», Южная Корея) с последующей обработкой отсканированных объектов с помощью 3D-редактора Autodesk Maya. 3D-сканер Solutionix Rexcan III — это оптическая 3D измерительная система с высоким разрешением (до 5 Мп) и точностью (0,007 мм) с низкими показателями зашумления. На отпрепарированный трупный материал и область вокруг него устанавливали метки совмещения, регистрируя которые 3D-сканер формирует единую систему координат и таким образом может производить оцифровку объекта и дает возможность получения полных трехмерных копий без дополнительной сборки-сшивки отдельных элементов.

В дальнейшем элементы сессии сканирования были экспортированы в программу для ЭВМ ezScan7 с последующей обработкой моделей в редакторе Autodesk Maya 2013.

Синергетическое взаимодействие специалистов в области математики и информатики, клинических анатомов позволило создать на кафедре оперативной хирургии, клинической анатомии с курсом инновационных технологий Самарского государственного медицинского университета на базе Центра прорывных исследований «Информационные технологии в медицине» (ЦПИ «ИТ в медицине») высокореалистичную низкополигональную модель строения тела человека и атлас трехмерной анатомии «In Body Anatomy». Разработанный 3D-атлас позволяет изучить и анатомический слой целиком, и отдельные объекты системы, включая взаимосвязь органов и систем человеческого тела. На основе данной модели построен программно-аппаратный комплекс для виртуальной работы с трехмерной моделью человеческого тела — интерактивный анатомический стол «Пирогов». Он существенно расширяет сферу применения обучающего материала за счет предоставления дополнительных функций: возможность сравнения различных анатомических объектов между собой (включая норму и патологию), изучения дополнительных диагностических материалов (данные КТ, МРТ, УЗИ). Опыт научно-исследовательской работы в сфере информационных и вычислительных технологий в медицине позволяет нам предложить совершенно новые революционные принципы исследования и синтеза полученных диагностических данных не только в сфере медицинского образования — изучении анатомии, но и в клинической практике.

В результате выполнения проекта Минпромторга РФ «Автоплан» мы используем персонализированные данные строения тела реального пациента для построения трёхмерных высокоточных моделей. Одним из практических приложений данной системы является оценка динамики изменения объёмов органов после химиотерапии. Для этого строится модель на основании исследований до химиотерапии и после нее, а затем проводится объективная оценка состояния тканей после лечения. Другим модулем, реализованным в системе «Автоплан», является автоматическое детектирование абсцессов, патологических кист и новообразований в печени (*рис. 1*).

Система, предварительно построив модель, проводит анализ плотности тканей на основании нейронных сетей. Успешно внедрён в клиническую практику и травматологический модуль, который

позволяет на этапе предоперационного планирования строить модель протезируемых костей (бедря и тазового кольца) и проводить подбор протезов по размеру костного канала, углу наклона и т.п. Данный модуль позволяет значительно сократить время операции, уменьшить затраты на последующую стерилизацию открытых протезов, повысить качество протезирования. Схожим является и челюстно-лицевой модуль (рис. 2), который позволяет проводить предоперационную подготовку шаблона для имплантата челюсти, по которому можно придать форму стандартному протезу и не тратить на это время в процессе операции.

Интеграция системы обработки медицинских изображений «Луч-С», созданной в СамГМУ, с технологиями вычислительной гемодинамики на суперкомпьютерном кластере позволяет рассчитать гемодинамические параметры сосудистых анастомозов у конкретных пациентов. Этот проект по планированию и оптимальному выбору анастомозов при трансплантации почки у больных с портальной гипертензией реализуется благодаря применению данной технологии.

В силу обширности материала и трудности изучения целостного организма человека вначале мы пользуемся таким аналитическим методом, как разделение его на отдельные системы, искусственно расчлняя его на части (отдельные органы). Но в живом организме элементы построения тела (системы, органы, ткани и т.п.) существуют не изолированно, а взаимодействуют друг с другом в своем возникновении, развитии и жизнедеятельности и оказывают друг на друга

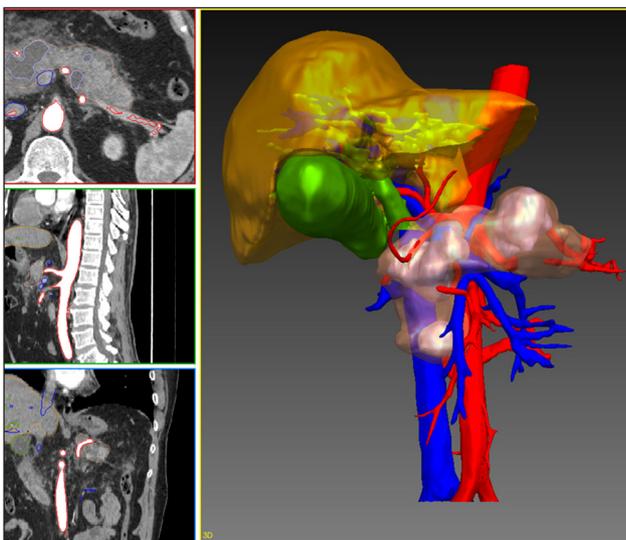


Рис. 1. Трехмерная персонифицированная анатомическая модель печени, желчного пузыря, брюшной аорты, нижней полой и воротной вен, построенная при помощи приложения «Автоплан» и показывающая точную локализацию абсцессов печени

формообразующее влияние. Поэтому для понимания организма в целом необходимо пользоваться также и методом синтеза. Использование атласа трехмерной анатомии «In Body Anatomy» в учебном процессе помогает лучше представить сложную пространственно-временную организацию, гетерогенность, индивидуальность, подвижность практически всех уровней живого организма человека (рис. 3). Высокореалистичная низкополигональная модель строения тела человека допускает манипуляции в пространстве и во времени [4]. Модель — это копия человека в целом, где можно посмотреть отдельные его органы либо топографическое сочетание нескольких органов.

Она в некотором смысле «более удобная», представляющая собой определенное количество точек в пространстве. Причем внутри такой модели для каждой точки возможно создание еще целого комплекса параметрических данных. Современные научные подходы в обработке любой информации, в том числе и морфологической, позволяют структурировать огромные и самые разнообразные массивы информации, хранить их, а также производить их быстрый поиск.

Эта трехмерная модель человеческого тела, на основе которой построен интерактивный анатомический стол «Пирогов», — обучающий программный продукт, позволяющий четко выстраивать логику обучения студентов и врачей по таким дисциплинам, как анатомия человека, топографическая анатомия, патологическая анатомия, судебно-медицинская экспертиза, хирургия, офтальмология, стоматология, отоларингология и другие. Использование интерактивного анатомического атласа позволяет выстроить полный



Рис. 2. Челюстно-лицевой модуль

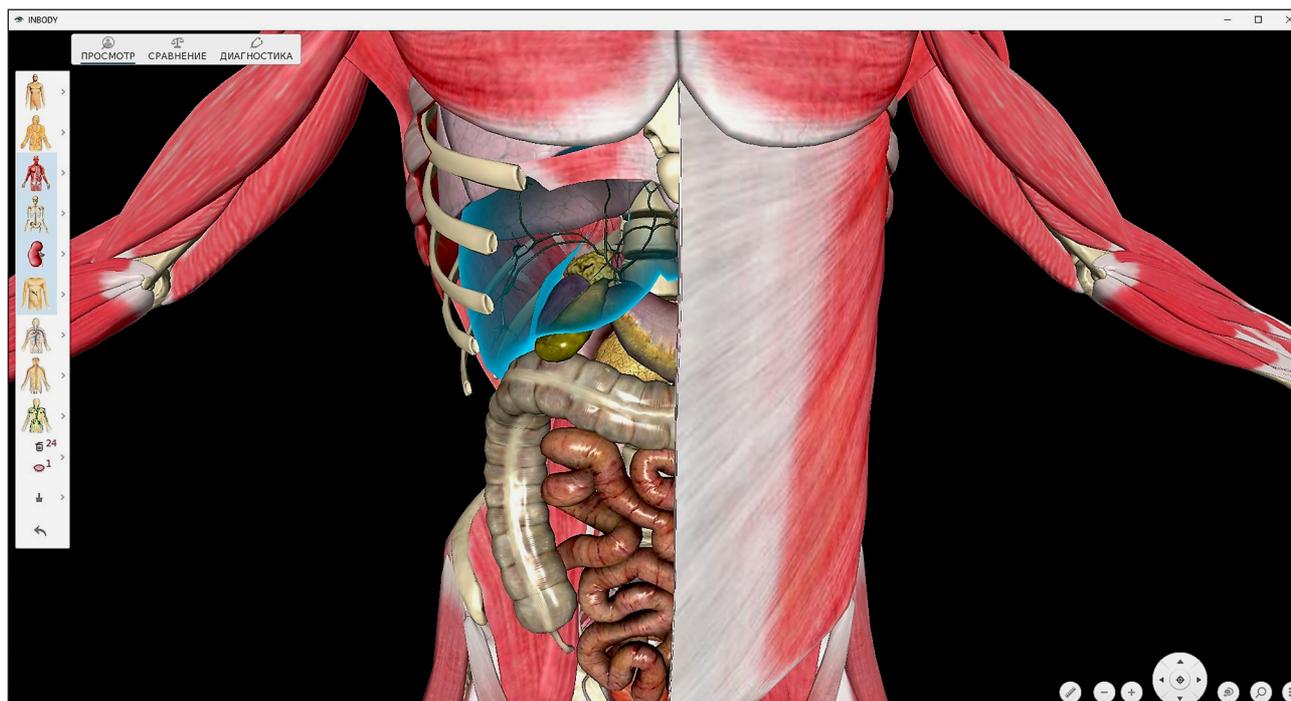


Рис. 3. Модель строения тела человека из атласа «In Body Anatomy»

цикл обучения от визуального знакомства с анатомическим материалом и получения текстовой информации до проверки качества полученных знаний и автоматической обработки результатов. Атлас включает 4 режима работы: 1) «Просмотр» для интерактивной работы с 3D-объектами; 2) «Сравнение» для анализа парных органов, нормы и патологии, а также различных патологий между собой; 3) «Диагностика» для получения дополнительной диагностической информации, а именно, данные КТ, МРТ, УЗИ; 4) «Проверка знаний» для составления тестов для оценки качества полученных знаний. Точность строения человека и качество патологических образцов делают разработанный атлас уникальным по анатомическому, топографическому и клиническому наполнению. Он включает в себя модели 12 слоев и систем человеческого тела (всего более 2000 3D-объектов), модели связочного аппарата, внутриорганные структуры объектов, включая кровеносные сосуды, иннервацию, пути оттока лимфы, протоки, доленое и сегментарное строение внутренних органов. В атласе смоделировано более 100 типичных патологических состояний основных органов, включено около 4 ГБ диагностической информации. Продуманный touch-интерфейс позволяет с легкостью манипулировать всем набором моделей, создавать пользовательские сцены для иллюстрирования самых редких анатомических случаев, которые не встречаются ни в одном учебнике. Простое управление позволяет вращать, масштабировать и перемещать изучаемые

анатомические объекты. Важным аспектом является возможность изучения комплексного строения тела человека в непрерывном движении — при акте дыхания, сокращении различных отделов сердца, пульсации сосудов, перистальтике внутренних органов. Виртуализация анатомических объектов — это воплощение характерных пропорциональных соотношений и анатомическая достоверность человека с полным объемом изображений макроскопической анатомии мужского и женского тела. Выбранные для сравнения 3D-объекты сопровождаются подробными текстовыми описаниями и информативными фото- и видеоматериалами. Преподаватели имеют возможность самостоятельно создавать тесты для студентов по своим курсам лекций. Любой вопрос может быть привязан к 3D-модели, а в качестве ответа на вопрос студенту предлагается выбрать правильный анатомический объект в 3D-сцене. Дополнительная возможность познания формы, ее образования и изменения при функциональных нагрузках существенно дополняет классическую анатомию.

Имитационные модели таких сложных систем, как анатомические структуры человеческого организма, позволяют проигрывать сценарии различных врачебных вмешательств и даже делать прогнозы по их реализации [2, 3]. Изучив их, хирург заранее знает персональное расположение анатомических образований, в том числе имеющих вариантное строение. Благодаря данному подходу можно заранее провести плани-

рование операции, наметить оптимальные зоны резекции, при необходимости с высокой степенью точности подготовить нужные имплантаты. Система «Автоплан» реализует построение в автоматическом режиме костей осевого и добавочного скелета, сосудов, протоков, внутренних органов, а также мышц и связок. Данные вычислительной анатомии применяются в реабилитации людей с ограниченными возможностями. Моделирование конечностей с мышцами и оценкой их состояния позволяет подбирать индивидуальные реабилитационные комплексы, направленные на восстановление и стимуляцию конкретных мышц.

Одним из наиболее важных современных направлений в медицине является внедрение телемедицины и робот-ассистируемых операций. Движение современной хирургии в технологии малоинвазивной хирургии невозможно без применения хирургической навигации. Интраоперационная навигация полностью бесполезна без персонифицированных многослойных данных *anatomia in silico*. Неотъемлемой частью проекта является интраоперационная визуализация [2, 5]. Оригинальная конструкция очков дополненной реальности, системы трекинга позволяет совмещать реальное изображение с данными рентгенологического исследования. Для достижения высокой степени реализма виртуальной операции используются следующие источники референсной информации: высокодостоверная трёхмерная модель строения тела человека, измерение физических свойств органов брюшной полости, гепатобилиарной системы и кровеносных сосудов человека (прочность на разрыв, сжатие, трение, растяжимость, коэффициенты трения и т. п.) при помощи тензометрического стенда, данные проведённых измерений, технические параметры реальных эндоскопических установок для хирургии.

Таким образом, *anatomia in silico* — раздел морфологии человека, позволяющий решить задачу, которую ставит перед врачом современная медицина — знать детально трёхмерную топологию органов и тканей конкретного пациента. Активное внедрение в анатомию средств медицинского изображения (УЗИ, МРТ, КТ и др.), созда-

ние систем визуализации объектов в их взаимосвязи позволяет включить в структуру *anatomia in silico* раздел лучевая анатомия. Изучение динамических взаимоотношений анатомических образований при функциональной нагрузке, до сих пор не получившее своего решения, мы выделяем как динамическая анатомия. Морфология человека становится одной из наиболее актуальных дисциплин, бурно развивающейся и неразрывно связанной с фундаментальным изучением строения человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган И. И. Прижизненная клиническая анатомия: методические основы, возможности и место в современной медицине // Морфол. ведомости. 2009. № 3. С. 63–64.
2. Кармазановский Г. Г., Федоров В. Д. Компьютерная томография поджелудочной железы и органов брюшинного пространства. М.: Паганель, 2000.
3. Колсанов А. В., Воронин А. С., Яремин Б. И., С. С. Чаплыгин. RBF-алгоритм и его модификации для построения поверхностных компьютерных 3D-моделей в медицинской практике // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2011. Т. 13, № 6. С. 88–93.
4. Колсанов А. В., Назарян А. К., Яремин Б. И. и др. Виртуальные технологии в клинической анатомии человека: новая эра морфологической науки и практики // Морфол. ведомости. 2012. № 3. С. 30–34.
5. Мелихова М. В., Кармазановский Г. Г., Гузеева Е. Б. и др. Возможности спиральной компьютерной томографии с болюсным контрастным усилением в дифференциальной диагностике неорганных брюшинных образований // Мед. визуализация. 2007. № 3. С. 43–57.
6. Петленко В. П. Путь к интегральной медицине XXI века // Вестн. Балтийск. акад. 1998. Вып. 23. С. 56–59.
7. Трофимова Т. Н. Лучевая анатомия человека. СПб.: Изд. дом СПбМАПО, 2005. С. 496.
8. Фомин Н. Ф. Анатомия Пирогова. СПб.: ВМедА, 2004.
9. Beg M. F. et al. Computational anatomy: Computing metrics on anatomical shapes // Biomed. Imaging. 2002. Vol. 21, № 5. P. 341–344.
10. Grenander U., Miller M. I. Computational anatomy: An emerging discipline // Quarterly of applied mathematics. 1998. Vol. 56, № 4. P. 617–694.
11. Pfister H., Kaufman A. E. Cube-4: A scalable architecture for real-time volume rendering. New York: ACM Press, 1996.
12. Zaidi H., Xu X. G. Computational anthropomorphic models of the human anatomy: the path to realistic Monte Carlo modeling in radiological sciences // Annu. Rev. Biomed. Eng. 2007. Т. 9. P. 471–500.