

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ, ДИАГНОСТИКИ, ЛЕЧЕНИЯ, РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЗВОНОЧНИКА И ПАРАЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

В. В. Комраков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

За последние восемь лет на кафедре «Информационные технологии» было реализовано несколько проектов по работе с биомедицинскими изображениями. Приводятся описание этих проектов, цели, задачи, особенности реализации и основные результаты работы. Рассмотрены проекты, связанные с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника, а также с заболеваниями паращитовидной железы.

Ключевые слова: биомедицинские изображения, дегенеративно-дистрофические заболевания поясничного отдела позвоночника, 3D-модель, биомеханика, кинематика, напряженно-деформированное состояние, классификация, сегментация, нейронные сети глубокого обучения, паращитовидная железа, гиперпаратиреоз, машина опорных векторов.

За последние несколько лет на кафедре «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого было успешно реализовано несколько проектов, не характерных для технического вуза. В этих проектах было создано различное программное обеспечение для обработки медицинских изображений с помощью методов искусственного интеллекта. В этой статье приводится историческая информация о начале активной деятельности над некоторыми направлениями исследований. В настоящее время эта работа продолжается с применением высокопроизводительного оборудования и современных инструментов для работы с медицинскими данными.

Первый проект преподаватели кафедры начали реализовывать в 2016 г. при финансовой поддержке Главного управления по здравоохранению Гомельского областного исполнительного комитета. Проект, имеющий название «Разработка программных средств для оценки биомеханики, планирования и прогнозирования способа хирургического вмешательства у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника на основе медицинского изображения» удалось выполнить менее чем за два года.

Объектом исследования являлись дегенеративно-дистрофические заболевания поясничного отдела позвоночника (ДДЗП). Этот отдел состоит из пяти наиболее крупных позвонков, на которые действует наибольшая нагрузка. Неудивительно, что здесь часто возникают медицинские проблемы, особенно сильно подвергаются воздействию межпозвонковые диски. Данные заболевания являются очень распространенными во всех странах мира. Клинически они проявляются сильными болевыми ощущениями и неврологическими выпадениями. Как следует из данных статистики, на долю ДДЗП приходится от 70 до 86 % всех случаев временной утраты трудоспособности по причине заболеваний нервной системы. Около 10 % пациентов с ДДЗП становятся стойкими инвалидами. Если учесть, что изменения в дисках на поясничном уровне возникают в основном у лиц трудоспособного возраста, то проблема приобретает серьезное социально-экономическое значение.

При этом часто результаты оперативного лечения признаются неудачными с возникновением синдрома неудачно оперированного позвоночника или болезнью оперированного диска.

Новым направлением современной хирургии является планирование операции на основании данных предоперационного обследования, посредством создания виртуальной модели области интервенции. Для этой цели было создано программное средство «Волот», главное окно которого показано на рис. 1.



Рис. 1. Главное окно приложения «Волот»

Программное средство «Волот» является Windows приложением. Предназначено для применения в неврологии, нейрохирургии и может использоваться в неврологических, нейрохирургических отделениях районного, межрайонного, областного и республиканского уровня для определения биомеханических параметров и оценки кинематики поясничного отдела позвоночника в послеоперационном периоде.

Программное средство обладает следующими функциями:

- 1) добавление пациента и его рентгеновских снимков в базу данных;
- 2) работа с изображениями рентгеновских снимков (поворот, масштабирование яркость, контрастность и др.);
- 3) выделение позвонков, других вспомогательных элементов;
- 4) определение геометрических параметров позвоночно-двигательных сегментов;
- 5) сравнительный анализ снимков, получение отчета или заключения.

Патологические процессы, развивающиеся в позвоночно-двигательных сегментах, неизбежно приводят к нарушению его двигательной функции, а, следовательно, регистрация этих нарушений даст возможность обосновать диагноз и выбрать адекватную тактику лечения [1–3].

Разработанный программный продукт в полуавтоматическом режиме проводит измерения и вычисления геометрических характеристик структур позвоночного столба, что значительно снижает трудоемкость процесса оценки спондилограмм, повышает диагностическую ценность исследования и позволяет унифицировать их математическое описание. Автоматическое создание базы данных систематизирует и облегчает дальнейшую постпроцессинговую обработку полученного массива данных.

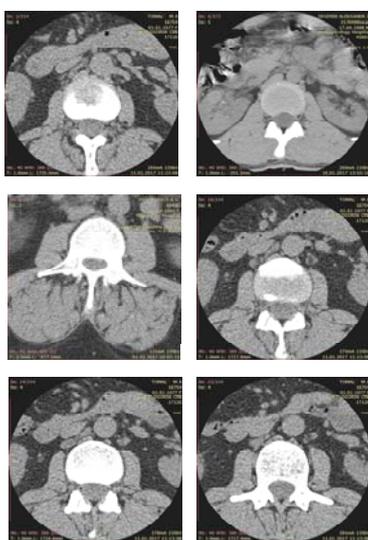
Результаты работы были внедрены в учреждения «Гомельская областная клиническая больница», а также была пройдена регистрация объекта интеллектуальной собственности – компьютерной программы «Волот» в Национальном центре интеллектуальной собственности.

Продолжением исследования заболеваний позвоночника являлась научно-исследовательская работа «Математические и программные средства для исследования биомеханики позвоночно-двигательных сегментов поясничного отдела у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника на основе многослойной компьютерной томографии». Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований «Конвергенция – 2020» в 2016–2020 гг.

Программное средство «Волот» из предыдущего проекта может создавать упрощенную двумерную модель поясничного отдела позвоночника в виде набора чертыехугольников, что является достаточным для традиционной оценки состояния позвоночника с использованием медицинских изображений, полученных на широко распространенных рентгеновских аппаратах.

С внедрением в клиническую практику КТ и МРТ, точность диагностики патологических изменений в структурах позвоночного столба существенно возросла. При этом было установлено, что у большинства пациентов не было клинического проявления, т. е. эти изменения были обнаружены при отсутствии какой-либо симптоматики [3].

Для разработки новых передовых методов лечения в работе использовались КТ медицинские изображения, которые в первую очередь применялись для построения высокоточной 3D-модели поясничного отдела позвоночника (рис. 2, а).



а)



б)

Рис. 2. Исходные данные и результаты работы приложения
а – КТ-изображения; б – 3D-модель позвоночника

При хирургическом лечении дегенеративных заболеваний позвоночника врач старается устранить компрессию нервно-сосудистых образований с одновременной стабилизацией позвоночных сегментов. Однако решение об объеме декомпрессии и способе фиксации хирург принимает самостоятельно, основываясь на визуальном изучении серии КТ-изображений. Для обоснованного назначения объема хирургического вмешательства хирургу необходимо построить точную виртуальную модель позвоночника. Трехмерное изображение позволяет досконально изучить анатомо-топографические особенности в зоне вмешательства, выбрать оптимальный доступ и минимизировать объем резекции связок и костных структур позвоночника.

Коллективом преподавателей кафедры было создано программное обеспечение, которое на основании серии КТ-изображений в DICOM формате строит 3D-модель поясничного отдела позвоночника (рис. 2, б).

На первом этапе проведена автоматизация распознавания анатомических элементов позвонков L1–L5 поясничного отдела позвоночника на КТ-изображении с помощью модифицированной сверточной нейронной сети глубокого обучения Inception-v3. В результате работы нейронной сети получили несколько групп изображений, на которых имелись изображения сечений позвонка с различными анатомическими элементами. Примеры изображений из разных групп приведены на рис. 2, а.

На втором этапе с помощью другой нейронной сети для каждой группы изображений проводился процесс сегментации, т. е. выделения области сечения позвонка.

На третьем этапе применялся метод реконструкции трехмерной поверхности объекта по его двумерным контурам сечений – метод шагающих кубов.

Однако у 3D-модели позвоночника (рис. 2, б) отсутствуют межпозвонковые диски, в которых в первую очередь возникают патологические изменения. На КТ-изображениях межпозвонковые диски совпадают по цвету с окружающими позвонки структурами мягких тканей из-за чего их очень трудно выделить. Был разработан еще один программный комплекс для решения задачи восстановления изображений межпозвонковых дисков на основе анализа КТ-изображений.

В качестве косвенного источника данных для определения их расположения и формы применяли аналогичные геометрические параметры покровной и базальной замыкательных пластин двух соседних позвонков. Для сегментации межпозвонковых дисков показала лучшие результаты предобученная нейронная сеть EfficientNet. Результаты выделения областей межпозвонковых дисков показаны на рис. 3.

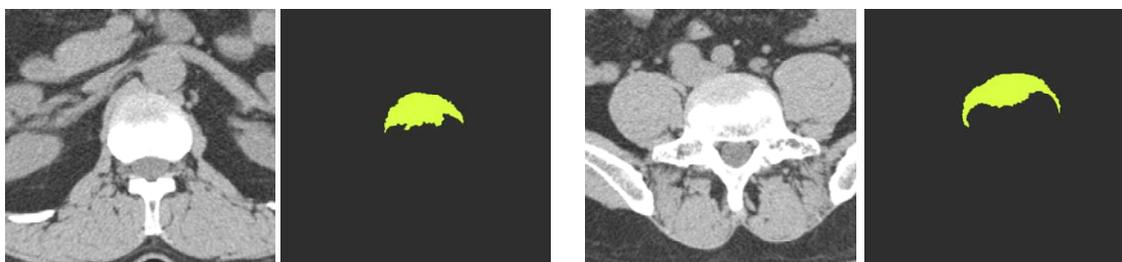


Рис. 3. Результаты определения границы межпозвонковых дисков

Получив полную 3D-модель, перешли к биомеханическому моделированию кинематики и напряженно-деформированного состояния позвоночника. В этом случае реальный человеческий орган заменялся виртуальной моделью, в основе которой лежит взаимодействие ее элементов как единой механической системы. Для опреде-

ления результатов взаимодействия применялся метод конечных элементов. Рассматривались обычные внешние нагрузки, пятикратная перегрузка в кранио-каудальном направлении в норме и на фоне дегенеративно-дистрофических изменений.

Применение компьютерного моделирования для выбора наиболее оптимального и малоинвазивного вмешательства позволяет снизить длительность стационарного этапа лечения и улучшить качество жизни пациентов в послеоперационном периоде, имеет существенное значение как в практическом здравоохранении, так и в обучении хирургов, выполняющих операции на позвоночнике.

Третий проект осуществлялся совместно с медицинскими специалистами государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека». Проект «Разработка системы управления базой данных для хранения и поиска структурных компонентов тканей парашитовидной железы» предназначен для определения патологий тканей парашитовидной железы.

Исходными данными является видеопоток с устройства, оснащенного конфокальным лазерным микроскопом, отдельные кадры которого показаны на рис. 4.

Целью работы являлось улучшение результатов топической диагностики заболеваний парашитовидных желез с использованием метода конфокальной лазерной микроскопии. Необходимо было определить одну из опасных патологий – гиперпаратиреоз, который ведет к повышению уровня кальция в крови, нарушению фосфорно-кальциевого обмена и патологическим изменениям, происходящим в первую очередь в костной ткани и почках.

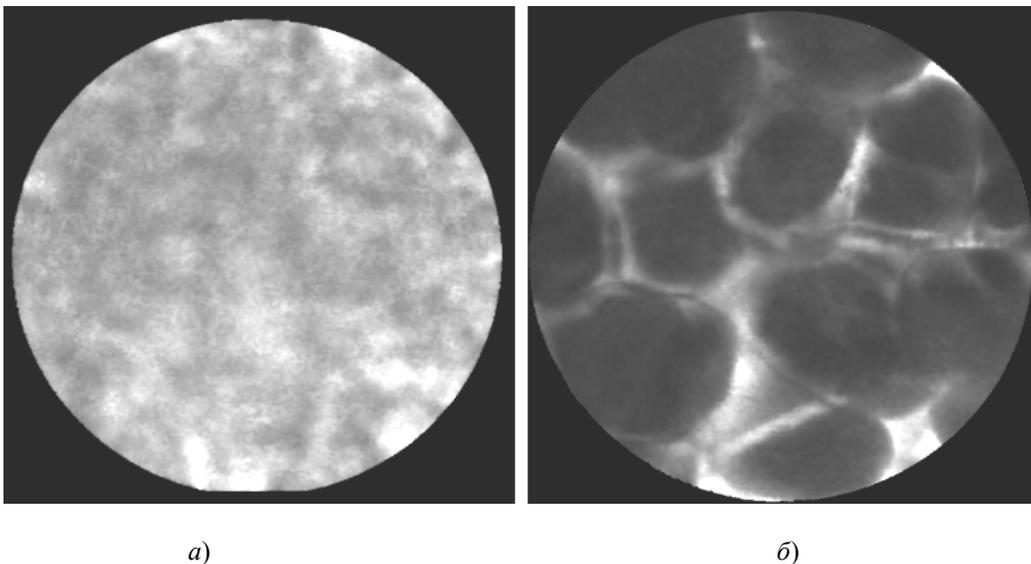


Рис. 4. Изображения парашитовидной железы
а – ткань с патологией; б – здоровая ткань

При решении задачи бинарной классификации применялся метод опорных векторов, заключающийся в поиске некоторой линейной функции, которая разделяет набор данных на два класса. При этом применялись несколько дескрипторов для изображений, один из которых – значение усредненных гистограмм – показан на рис. 5.

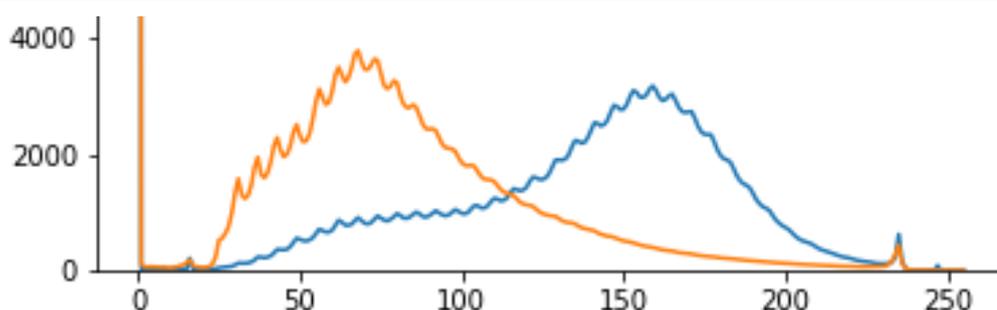


Рис. 5. Усредненные гистограммы

На рис. 5 показан график гистограммы оранжевого цвета для ткани с патологией, изображенной на рис. 4, а, и график синего цвета для здоровой ткани, изображенной на рис. 4, б.

Разработанное программное обеспечение позволило улучшить результаты топической диагностики заболеваний парацитоидных желез с использованием метода конфокальной лазерной микроскопии и методов машинного обучения с 69 до 86 % по сравнению с традиционными лабораторными исследованиями.

Во время работы над проектами необходимо отметить активное участие заведующего кафедрой «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого К. С. Курочки, заведующего нейрохирургическим отделением № 1 ГОКБ Е. Л. Цитко, заведующего отделением трансплантологии ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» А. В. Величко.

Литература

1. Зиннатова, Н. Х. Биомеханический метод диагностики состояния позвоночника в норме и при патологиях / Н. Х. Зиннатова / Изв. ЮФУ. Техн. науки. – 2009. – № 10. – С. 108–113.
2. Гладков, А. В. Клиническая биомеханика в диагностике патологии позвоночника / А. В. Гладков, Е. А. Черепанов // Хирургия позвоночника. – 2004. – № 1. – С. 103–109.
3. Ахмедов, Ш. Ч. Статика и биомеханика позвоночника в норме: обзор / Ш. Ч. Ахмедов, А. Р. Сатторов, А. К. Кобилов // Неврология. – 2013. – № 3. – С. 44–49.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

И. В. Астапенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены результаты исследования влияния длительности временных выдержек при циклическом (маятниковом) сфероидизирующем отжиге бунтового проката из подшипниковой стали ШХ15 на степень полноты трансформации пластинчатого перлита в зернистый. Исследования проводились на катанке диаметром 6,5 мм, прокатанной по усовершенствованному режиму, позволяющему получить исходную мелкодисперсную перлитную структуру с межпластинчатым расстоянием 0,126–0,235 мкм и размером пластин цементита не более 0,8 мкм.

Ключевые слова: подшипниковая сталь, сфероидизирующий отжиг, исходная структура, пластинчатый перлит, маятниковый (циклический) отжиг, время циклических изотермических выдержек, обезуглероженный слой, цементитные пластины и глобулы.