

УДК 616.721.6-002.77-002.16-07

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИКИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА  
ПОЗВОНОЧНИКА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Ильина Д. В.*

**Научные руководители: к.м.н., доцент Е. А. Цитко<sup>1</sup>;**

**к.т.н., доцент К. С. Курочка<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Учреждения образования**

**«Гомельский государственный медицинский университет»,**

**<sup>2</sup>Учреждения образования**

**«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**г. Гомель, Республика Беларусь**

**Введение**

Позвоночный столб представляет собой сложную многосуставную кинематическую цепь способную совершать движения вокруг фронтальной, горизонтальной и вертикальной оси. При обследовании пациента с патологией позвоночника врач учитывает жалобы, неврологическую картину и результаты традиционных способов инструментальной диагностики — обзорная и функциональная рентгенография, компьютерная или магнитно-резонансная томография, миелография или дискография [1, 2].

Однако очевидным является тот факт, что имеющийся диагностический комплекс средств визуализации позволяет констатировать изменения в позвоночнике, паравертебральных тканях на различных стадиях заболеваний позвоночника и этапах лечения, однако этого недостаточно для прогнозирования течения заболевания и развития осложнений. Ни один из методов инструментальной диагностики не дает информации о биомеханике позвоночника *in vivo* [2, 3]. Актуальным с научной и практической точки зрения направлением является разработка и внедрение компьютерных технологий расширяющих диагностическую ценность интроскопических исследований. Существующие на современном этапе развития науки компьютерные технологии значительно расширяют возможности клиницистов. Наиболее достоверным и научно-обоснованным методом изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) в области биомеханики позвоночника является метод конечных элементов (МКЭ). С помощью математических моделей в специализированных пакетах, основанных на МКЭ возможно оценить НДС элементов поясничного отдела позвоночника при нагрузках как у здоровых лиц, так и при различных патологических состояниях [3, 4]. В целом такие биомеханические модели могут быть использованы для: анализа кинематики ПДС; объективизации показаний и индивидуального подхода к выбору объема хирургического вмешательства; прогнозирования развития заболевания и осложнений; разработки индивидуальных программ реабилитации [5]. Таким образом, изучение биомеханической функции ПДС в условиях физиологических и патологических процессов, представляется одним из самых актуальных и перспективных направлений в научных исследованиях и является фундаментом при разработке новых медицинских технологий.

**Цель**

Определить возможности персонифицированной конечно-элементной модели в оценке напряженно-деформированного состояния поясничного отдела позвоночника у пациентов в III стадии дегенеративно-дистрофического процесса.

**Материал и методы исследования**

Совместно с кафедрой «Информационные технологии» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого разработано про-

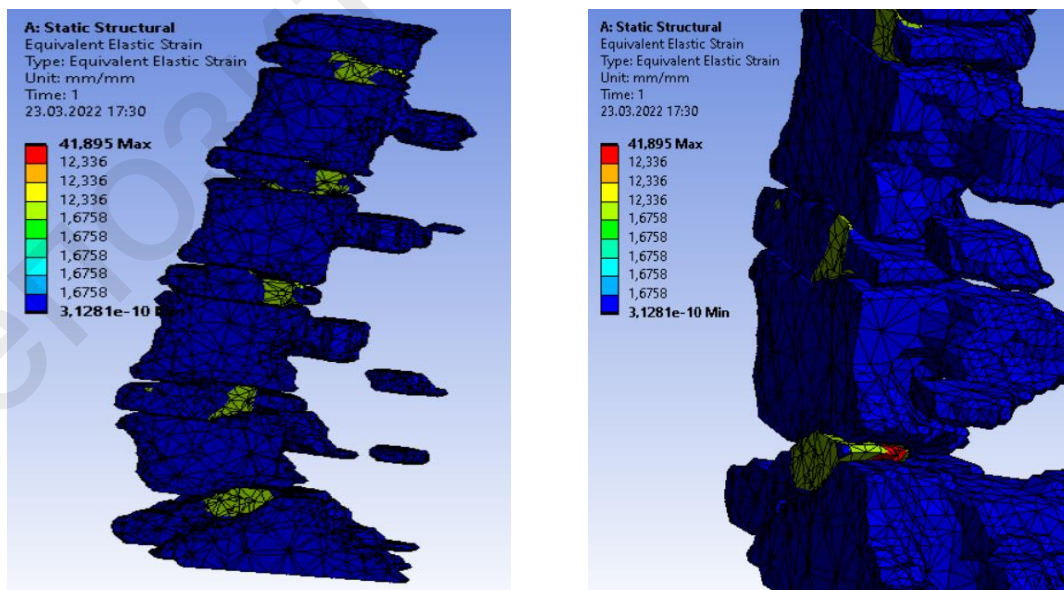
граммное средство, которое в автоматическом режиме выполняет пороговый анализ, сегментацию и реконструкцию 3D модели методом конечных элементов структур поясничного отдела позвоночника на основе компьютерной томографии в формате DICOM. Созданная программой персонифицированная конечно-элементная 3D модель (КЭМ) импортировалась в систему ANSYS Workbench для исследования методом конечных элементов. Границы между позвонками и межпозвоночными дисками считались строго общими, между элементами отсутствовали пустоты. Использованные в расчетах упругие и прочностные свойства взяты из литературных источников [5]. К позвонкам прикладывались квазистатические нагрузки. Синтезированные КЭМ нагружались по верхнему позвонку L1 сжимающей вертикальной силой в 400 Н вдоль оси позвоночника. Модели имели жесткое закрепление на уровне L5 позвонка и его перемещения равны нулю. Задача решалась в перемещениях, затем для каждого элемента вычислялись напряжения и деформации. Для оценки НДС тел позвонков использовались напряжения по Мизесу, межпозвоночных дисков (МПД) — картина эквивалентных упругих деформаций.

В исследование включены данные компьютерной томографии 13 пациентов с остеохондрозом позвоночника в III стадии дегенеративного процесса по Осна и Попелянскому [6], осложненного грыжеобразованием на уровне L4–L5 (n = 8) и L5–S1 (n = 5).

Медиана возраста группы составила 47 (42; 56) лет, веса — 84 (72; 106) кг. Среди них было 8 (61,5 %) мужчин и 5 (38,5 %) женщины. С учетом анатомо-топографической локализации грыж МПД в горизонтальной плоскости преобладали пациенты с латеральным расположением 10 (77 %), парамедианное встречалось у 3 (23 %) человек.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

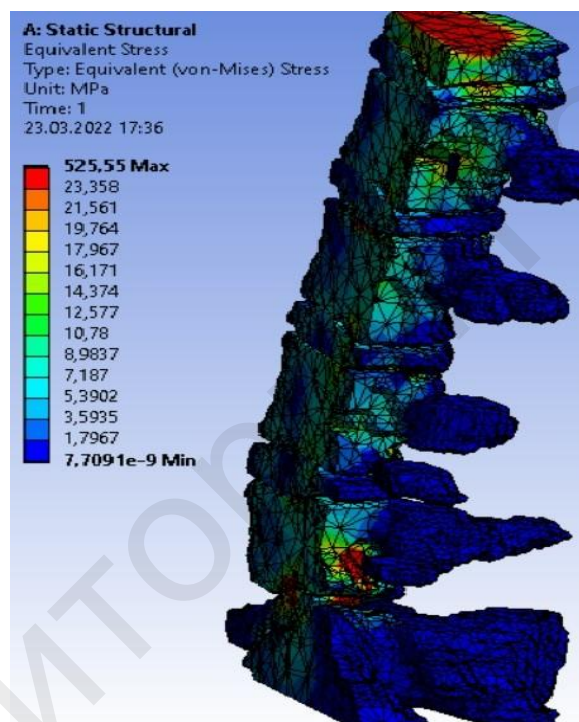
В результате проведенного исследования математических моделей получена картина распределения напряжений в ПОП под действием осевой сжимающей нагрузки у 13 человек. Вся нагрузка, приложенная к верхнему торцу тела L1, полностью реализуется до тела S1. Поэтому анализ НДС позвоночника заключается в оценке распределения нагрузки между структурными элементами с целью выявления зон концентрации напряжения.



**Рисунок 1 — Картина эквивалентных упругих деформация МПД поясничного отдела позвоночника в сагитальной плоскости с зоной концентрации в задних отделах МПД L5 слева у пациента П., 43 года, мм/мм**

Установлено, что при вертикальной нагрузке максимальной упругой деформации подвергаются задние отделы МПД в диапазоне 1,67–12,34 мм/мм, при чем, в 69,2 % (n = 9) случаев, пик деформации в диапазоне 12,34–41,89 мм/мм приходится на область грыжевого выпячивания МПД. Так на рисунках 1 и 2, представлены сечения КЭМ 3D-модели ПКОП, в сагитальной плоскости пациента П., 43 года с левосторонней грыжей МПД L5–S1 до 7,2 мм по данным компьютерной томографии.

Анализ математического моделирования контактных напряжений по Мизесу, показывает, что при нагрузке увеличение напряжения приходится на задние отделы тел позвонков в диапазоне 3,59–12,58 МПа, с максимальным напряжением в центральной части их задних отделов в диапазоне 14,37–19,97 МПа. Кроме того, у 76,9 % (n = 10) пациентов пик напряжения в диапазоне 21,56–23,36 МПа приходится на гомолатеральные грыжевому выпячиванию задне-базальные отделы вышележащих тел позвонков (рисунок 3).



**Рисунок 3 — Напряжения по Мизесу поясничного отдела позвоночника с пиковым напряжением в задне-базальных отделах тела L5 слева у пациента П., 43 года, МПа**

### **Выводы**

1. Представленная методика позволяет достаточно точно создать персонализированную конечно-элементную модель позвоночно-двигательных сегментов по данным КТ.
2. При вертикальной нагрузке максимальной упругой деформации подвергаются задние отделы межпозвонкового диска.
3. Установлено, что в 69,2 % (n = 9) случаев пик упругой деформации МПД в диапазоне 12,34–41,89 мм/мм приходится на область грыжевого выпячивания.
4. При осевой нагрузке увеличение контактного напряжения по Мизесу происходит в задних отделах тел позвонков в диапазоне 3,59–12,58 МПа, с максимальной концентрацией в центральной их части в диапазоне 14,37–19,97 МПа.
5. У 76,9 % (n = 10) пациентов пик напряжения по Мизесу в диапазоне 21,56–23,36 МПа приходится на гомолатеральные грыжевому выпячиванию задне-базальные отделы вышележащих тел позвонков.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Lumbar spinal finite element analysis in a gravity environment / K. Li [et al.] // Eighth International Conference on Digital Image Processing. 2016. Vol. 10033. P. 1252–1261.
2. Масалитина, Н. Н. Математическая модель принятия решений при лечении остеохондроза поясничного отдела позвоночника / Н. Н. Масалитина, К. С. Курочка, Е. Л. Цитко // Информатика. 2019. Т. 16, № 1. С. 24–35.
3. Deformation analysis of lumbar spine based on mechanics of materials and finite element method / H. Chen [et al.] // International Conference on Robotics and Biomimetics. 2017. Vol. 218, № 1. P. 1358–1362.
4. Research progress and prospect of applications of finite element method in lumbar spine biomechanics / Z. Zhang [et al.] // J. Biomed. Eng. 2016. Vol. 33, № 6. P. 1196–1202.
5. Чуйко, А. Н. Приближенный анализ анатомии, механических характеристик и напряженно-деформированного состояния позвоночника человека / А. Н. Чуйко // Травма. 2014. № 6. С. 100–109.
6. Ретроспективная оценка результатов хирургического лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника / А. Е. Симанович [et al.] // Травматология и ортопедия. 2008. С. 234–239.

**УДК 616.8-06:[616.98:578.834.1**

**ОСНОВНЫЕ НЕВРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСТКОВИДНЫЕ СИНДРОМЫ**

**Киптик А. Ю., Гормаш Е. С.**

**Научный руководитель: к.м.н., доцент Н. Н. Усова**

**Учреждение образования**

**«Гомельский государственный медицинский университет»**

**г. Гомель, Республика Беларусь**

**Введение**

Пандемия коронавирусной инфекции является одной из самых обсуждаемых и актуальных тем в современной медицине. Вирус часто мутирует, каждый новый штамм значительно варьирует в своей контагиозности и патологическому воздействию на организм человека. В связи с этим, стало появляться все больше сведений о полипатогенезе возбудителя — вирус поражает не только дыхательную систему и желудочно-кишечный тракт, как считалось ранее, он также тропен к железистой и нервной ткани. Уже в начале пандемии одним из основных симптомов поражения ВОЗ называло anosmia — временную потерю обоняния [1]. Кроме того, многие пациенты отмечали также и ageusia — временное нарушение к восприятию вкуса пищи. Также, специалисты отмечают, что летальность в данной пандемии связана с повышением частоты инсультов и кровоизлияний в мозг. Таким образом, коронавирус может поражать как центральную, так и периферическую нервную систему.

**Цель**

Установить основные последствия перенесенной коронавирусной инфекции для нервной системы человека среди студентов УО «ГомГМУ».

**Материал и методы исследования**

В качестве материалов для написания статьи использовались научные данные, полученные отечественными и зарубежными неврологами, инфекционистами, изучалась научная литература, посвященная аспектам воздействия коронавирусной инфекции на нервную систему человека.

Была произведена опрос 98 студентов 4 курса ГомГМУ, перенесших за последний год инфекцию Covid-19, с целью выяснения наличия основных неврологических симптомов после перенесенной коронавирусной инфекции. Обработка данных произведена в текстовом редакторе «Microsoft Office Word 2016».

**Результаты исследования и их обсуждение**

По данным многих исследователей, существует два предположения относительно воздействия коронавируса на нервную систему человека: первая теория, наиболее распространенная, предполагает, что не коронавирус сам по себе повреждает нервную систему человека, а собственная иммунная система. Сто-