

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»  
Кафедра информатики и программирования

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ  
(ДИССЕРТАЦИИ)

аспиранта 3 курса  
направления 02.06.01 – Компьютерные и информационные науки  
направленности «Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ»

ДМИТРИЕВА ПАВЛА ОЛЕГОВИЧА

Научный руководитель,

д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.С. Фалькович

Зав. кафедрой,

к.ф.м.н., доцент

\_\_\_\_\_ М. В. Огнева

Саратов 2021

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** Травмы и заболевания позвоночно-тазового комплекса (ПТК) относятся к тяжёлым поражениям опорно-двигательной системы. ПТК включает в себя позвоночник, тазобедренный сустав и таз, на изменения в любом из этих компонентов неизбежно реагирует весь комплекс. Внедрение в деятельность медицинских организаций систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) позволяет повысить качество лечения. Современная практика хирургического лечения ПТК включает в себя геометрическое планирование и статистический анализ доступных данных ранее проведённых операций и их последствий

В данной работе исследуются данные инструментальных медицинских исследований – рентгенограммы и компьютерные томограммы – и связанные с ними практические задачи: определение модуля Юнга, определение контуров позвонков и расчет параметров сагиттального баланса.

**Цель работы** – определение параметров для геометрического планирования и биомеханического моделирования хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

- Анализ и предварительная обработка рентгенограмм и компьютерных томограмм
- Определение модуля Юнга по данным компьютерной томографии
- Разработка калькуляторов для прогноза состояния пациента в послеоперационном периоде
- Установление взаимосвязей между параметрами сагиттального баланса на основе анализа рентгенограмм

**Объектами исследования** являются позвоночник человека и его отдельные элементы-позвонки, а также костная ткань позвонков и головок тазобедренной кости.

**Предмет исследования** – прочностные свойства костной ткани, оптическая плотность рентгенограмм и томограмм, параметры сагиттального баланса человека.

**Практическая значимость результатов работы** заключается в создании отдельных компонентов, применяемых в «Системе поддержки принятия врачебных решений реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса», а именно: модуль твердотельных моделей, модуль прогнозирования для режима персональной виртуальной операционной 3D,

программное обеспечение для ведения регистра пациентов с патологиями позвоночно-тазового комплекса, базы данных «Медицинская» и «Механическая».

**Достоверность и обоснованность** результатов исследования обеспечивается корректностью математической постановки задачи, применением методов математической статистики, сравнением результатов с известными результатами других авторов.

**Личный вклад** автора: лично разработал алгоритм, позволяющий улучшить распознаваемость позвонков и их замыкательных пластин на рентгеновском снимке в сагиттальной проекции, разработал принцип работы, дизайн и программное обеспечение для калькуляторов прогнозов, выполнил все описанные в работе численные расчеты. В выполненных в соавторстве работах соискателю в равной степени принадлежат как постановка задачи, так и результаты выполненных исследований.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

Формула для определения зависимости модуля Юнга трабекулярной костной ткани от ее плотности по данным компьютерной томографии.

Программа-калькулятор прогноза результатов эндопротезирования тазобедренного сустава, основанная на статистическом анализе послеоперационных рентгенограмм

Программы-калькуляторы для прогноза результата хирургического лечения стабильной сочетанной травмы таза, основанные на статистическом анализе показателей состояния пациента

Обобщенные зависимости между основными геометрическими параметрами сагиттального баланса: Sacral Slope, Pelvic Incidence и Lumbar Lordosis, позволяющие при планировании операции сформировать оптимальные позвоночно-тазовые взаимоотношения для конкретного пациента.

**Научная новизна.** Разработана уточненная формула для определения зависимости модуля Юнга трабекулярной костной ткани от ее плотности по данным компьютерной томографии. На основе проведенного статистического анализа результатов лечения разработаны алгоритмы и реализованы программы-калькуляторы прогноза результатов эндопротезирования тазобедренного сустава и хирургического лечения стабильной сочетанной травмы таза. Выведены обобщенные зависимости между основными геометрическими параметрами сагиттального баланса: Sacral Slope, Pelvic Incidence и Lumbar Lordosis, позволяющие при планировании операции

сформировать оптимальные позвоночно-тазовые взаимоотношения для конкретного пациента.

**Публикации.** Основное содержание работы опубликовано в 5 печатных работах, из них 2 статьи в журналах, входящих в базу Scopus, в том числе 1 статья в журнале, входящем также в перечень журналов, рекомендуемых ВАК. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 4 свидетельства о государственной регистрации баз данных, написанных по результатам исследований, приведённых в работе.

**Объем и структура работы.** Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Общий объем работы составляет 115 страниц, 33 рисунка, 4 таблицы.

## **Содержание работы**

**Введение** содержит постановку задачи, обоснование важности исследования для «Системы поддержки принятия врачебных решений реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса», а также анализ полученных результатов с точки зрения их новизны по сравнению с известными, приводится краткое содержание работы.

**В первой главе** дано описание основных физических принципов рентгенодиагностики – рентгенографии и рентгеноскопии – и рентгеновской компьютерной томографии, их роли в диагностике и лечении заболеваний и повреждений, а также охарактеризованы их сравнительные достоинства и недостатки.

**Во второй главе** решается задача повышения четкости изображений позвонков на рентгеновском снимке. При определении границ позвонков необходимо распознать их внешний, кортикальный слой. Поскольку кортикальный слой более плотный, числа Хаунсфилда, характеризующие оттенки серого цвета на рентгенограмме, значительно больше, чем у окружающих тканей и у внутренних (трабекулярных) тканей позвонков. Однако из-за того, что изображение на рентгенограмме «зашумлено», на контуры позвонков накладываются силуэты внутренних органов и других костей. В результате числа Хаунсфилда, соответствующие кортикальному слою различных позвонков, могут различаться на порядок.

Для повышения четкости изображения разработана программа для обработки изображения с помощью свертки и предварительного численного дифференцирования. В результате работы данной программы получается файл

формата ‘.csv’, содержащий данные о пикселях обработанного изображения, который при необходимости можно экспортировать в таблицу excel. В обработанном файле различия между числами, соответствующими контурам позвонков, и трабекулярной костной ткани или окружающим тканям, выражены более четко. Результирующий файл более пригоден для выделения контуров позвонков.

**В третьей главе** исследована зависимость модуля Юнга трабекулярной костной ткани от ее плотности по данным компьютерной томографии

В задачах биомеханического моделирования, возникающих при планировании хирургического реконструктивного лечения заболеваний и повреждений ПТК, важную роль играет значение модуля Юнга костных тканей. Поскольку расчеты должны проводиться до операции, когда резецированной костной ткани еще нет, определение модуля Юнга возможно только по данным компьютерной томографии (КТ) *in vivo*. (рисунок 1)

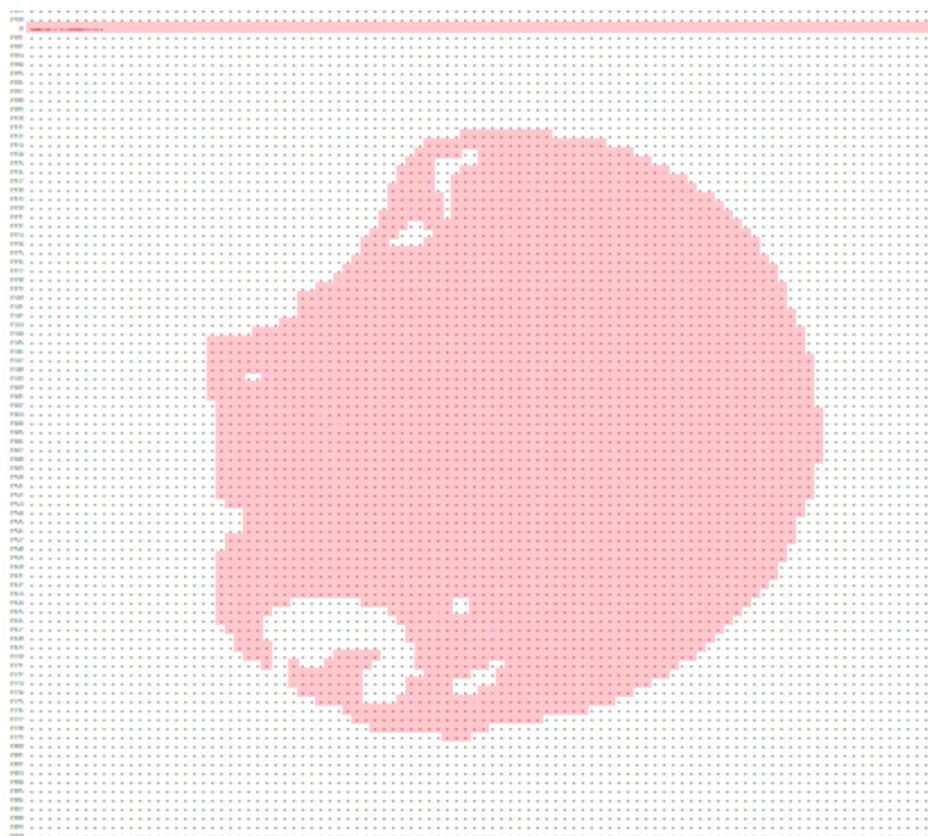


Рисунок 1. Контур резецированной головки бедренной кости, полученные по данным компьютерной томограммы. DICOM файл конвертирован в таблицу EXCEL, числа Хаунсфилда, попавшие в выбранный интервал, выделены заливкой.

На основе анализа данных компьютерной томографии пациентов *in vivo*,

компьютерной томографии резецированных образцов костной ткани и результатов измерения модуля Юнга образцов резецированной трабекулярной костной ткани на испытательной машине Instron 5944 (рис. 2) выведены зависимости значения модуля Юнга от плотности костной ткани и от среднего значения числа Хаунсфилда.

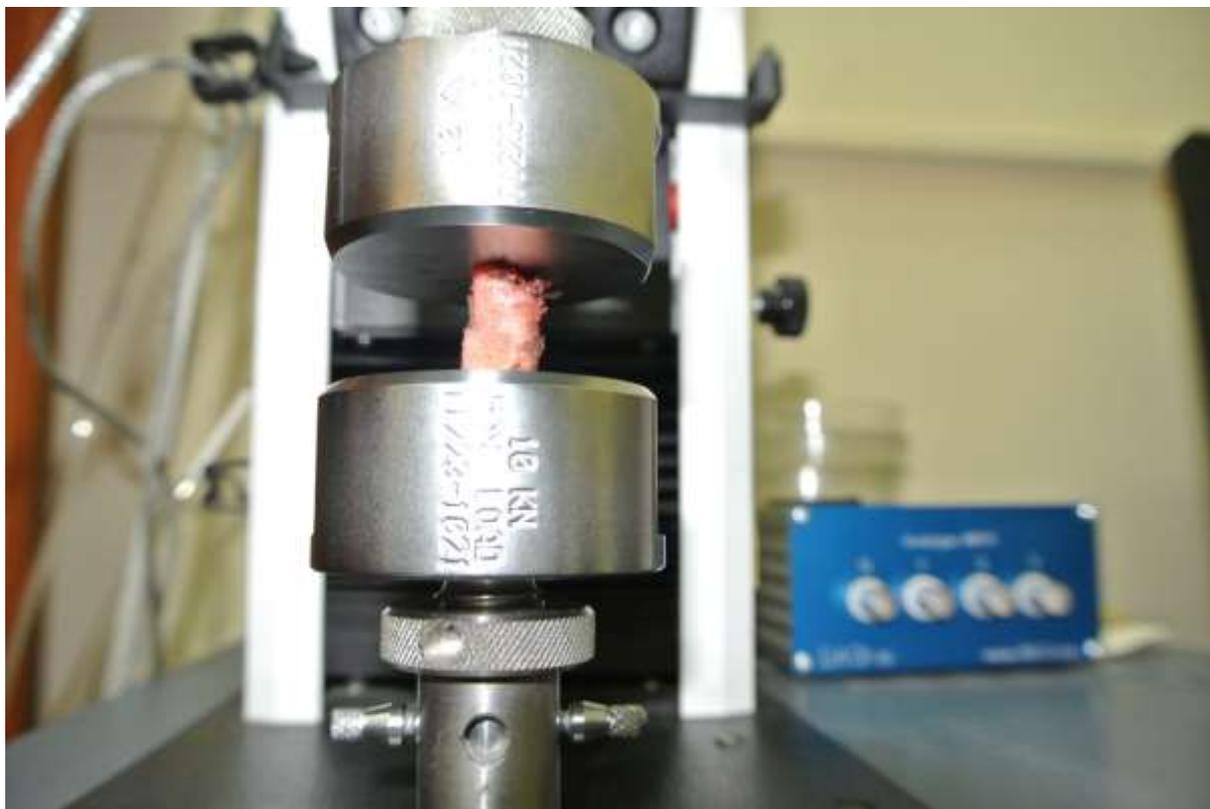


Рисунок 2. Измерение модуля Юнга образца резецированной губчатой костной ткани на испытательной машине Instron 5944.

В ходе экспериментов были определены значения максимальных напряжений и деформаций и вычислены значения модуля Юнга.

По результатам экспериментов была построена зависимость значений модуля Юнга, определенным по данным *in vitro*, от чисел Хаунсфилда, определенных по данным КТ (рисунок 3).

Используя известное соотношение между плотностью костной ткани и числами Хаунсфилда, стало возможным определить зависимость значений модуля Юнга (определенным по данным *in vitro*) от плотности костной ткани, определенной по данным КТ, которая имеет вид:

$$E = 0,0698 * P + 24,013 \quad (1)$$

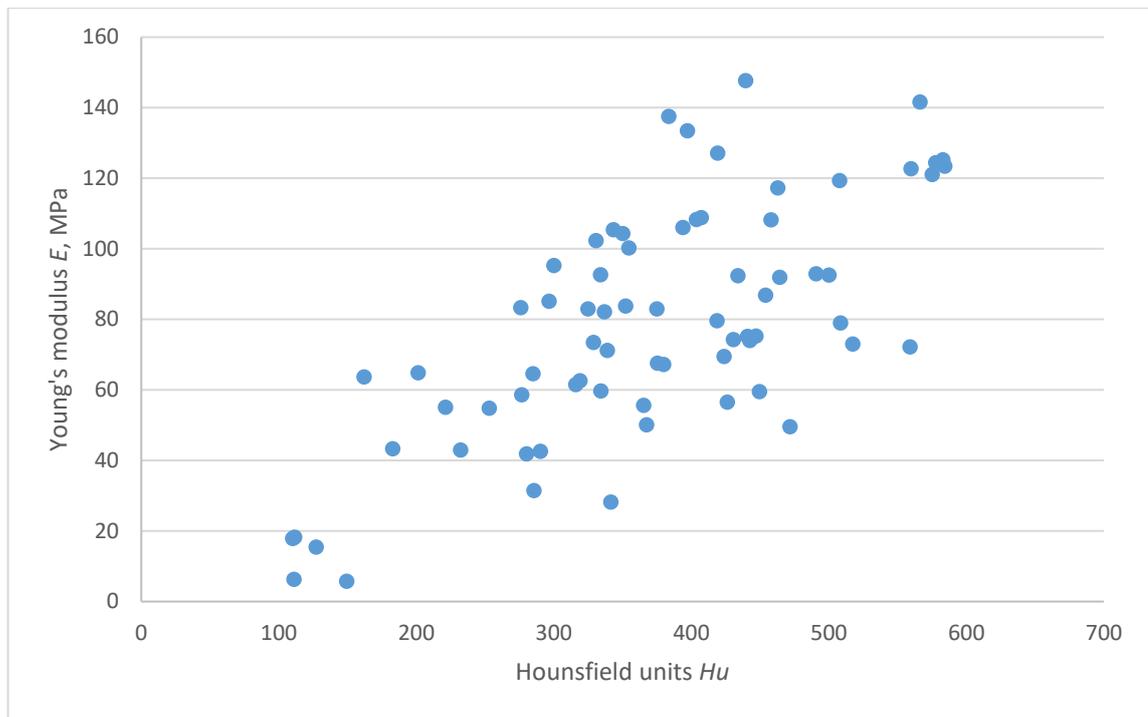


Рисунок 3. Диаграмма зависимости значения модуля Юнга от чисел Хаунсфилда.  $E = 0,1934 * Hu + 7,1375$

Полученная зависимость позволяет по данным КТ пациента определить модуль Юнга, необходимый для биомеханического моделирования результатов предстоящей операции.

Данные о свойствах костных тканей, необходимые для биомеханического моделирования, внесены в базу данных «Механическая», являющейся частью «Системы поддержки принятия врачебных решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса» (СППВР).

**В четвертой главе** проведен статистический анализ данных об 271 операции по эндопротезированию тазобедренного сустава, извлеченных из БД «Медицинская» с помощью специально разработанной витрины, представляющей информацию из БД в виде плоской таблицы.

По оцифрованным описаниям послеоперационных рентгенограмм была построена зависимость доли операций с результатом «Неполное покрытие чашки эндопротеза костью» (в процентах) от угла наклона чашки эндопротеза и установлено, в каком интервале угла наклона чашки в вертлужной впадине достигается минимальный процент операций с результатом «Неполное покрытие чашки эндопротеза костью» (рисунок 4).

Таблица 1 – Углы наклона чашки эндопротеза тазобедренного сустава в вертлужной впадине и количество пациентов с выявленной неполной покрытостью чашки костью

Угол, под которым чашка протеза фиксирована в вертлужной впадине	Количество прооперированных пациентов		Доля операций с результатом: “Неполное покрытие чашки костью”
	Всего	В том числе с выявленной неполной покрытостью чашки костью	
<30	7	2	29%
31-33	13	4	31%
34-36	37	5	14%
37-39	46	8	17%
40-42	48	9	19%
43-45	55	4	7%
46-48	42	3	7%
49-51	15	3	20%
>51	5	1	20%

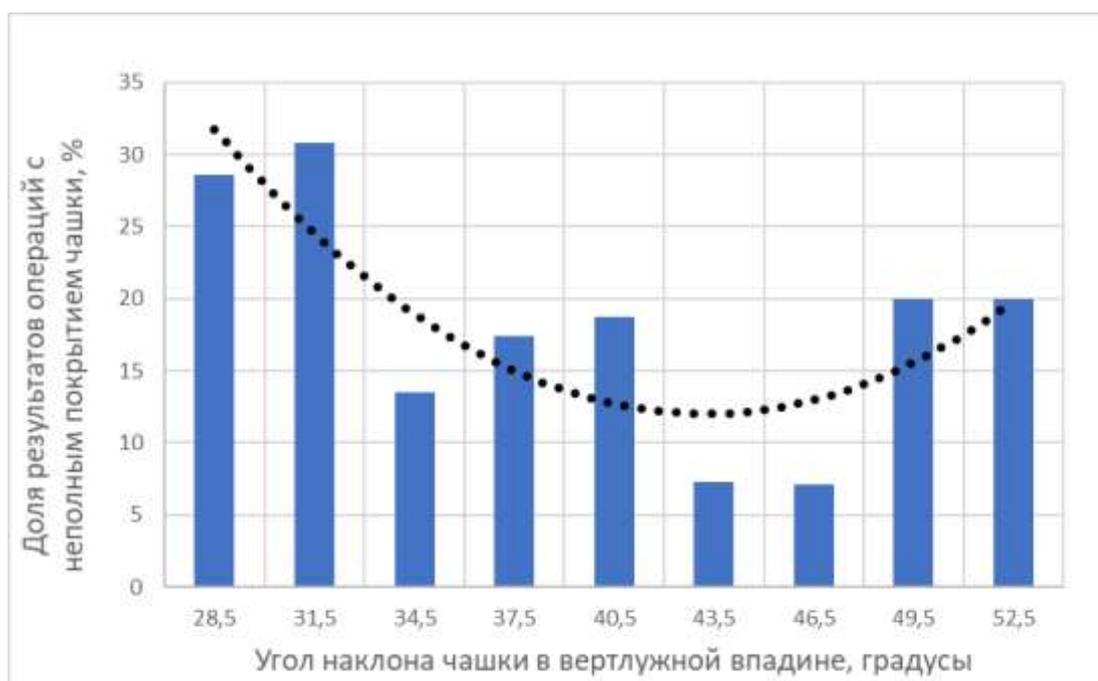


Рисунок 4. Зависимость доли результатов операций с неполным покрытием чашки эндопротеза костью  $p$  (в процентах) от угла наклона чашки в вертлужной впадине  $a$  :  $p = 0,0909a^2 - 7,8591a + 181,91$

На основе полученной зависимости и данных из литературных источников о других факторах, влияющих на исход операции, построено дерево прогноза и разработана программа «Калькулятор замены ТБС» для персонализированного прогноза (рисунок 5).

Калькулятор ТБС

ФИО пациента: ИИИ

Возраст, лет: 69

Рост, см: 179

Вес, кг: 75

Угол наклона чашки имплантата: 85

Процент покрытия чашки костью: 59

Рассчитать

Прогноз для пациента ИИИ

- повышенный риск соматических осложнений
- повышенный риск износа полиэтиленового вкладыша и вывиха головки и повышенный риск асептической нестабильности

Рисунок 5. Интерфейс калькулятора «Прогноз послеоперационного периода после эндопротезирования ТБС»

**Пятая глава** посвящена разработке калькуляторов для прогноза состояния пациента с сочетанными травмами таза в послеоперационном периоде. Были проанализированы данные о 1082 пострадавших с сочетанными травмами таза, предоставленные Санкт-Петербургским НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе. На первом этапе анализа проведена очистка и оцифровка данных. Показатели, представленные в номинальной шкале, ранжировались с учетом мнения независимых экспертов.

Применение факторного анализа позволило выявить группы взаимосвязанных показателей. Проведенный корреляционный анализ позволил рассчитать парные коэффициенты корреляции и подтвердить наличие тесных взаимосвязей между этими показателями.

Было построено три логит-модели, использующие три часто

используемых шкалы баллов тяжести повреждения (Ю.Н. Цибина, ВПХ-П (MT), ISS).

$P=f(-2,81 + 0,05 \text{ «возраст»} + 0,07 \text{ «ISS»} + 0,16 \text{ «механизм травмы»} - 0,37 \text{ «шкала ком Глазго»})$ , эффективность 91,2%.

$P=f(0,05 \text{ «возраст»} + 0,08 \text{ «тяжесть повреждения по Цибину»} + 0,21 \text{ «механизм травмы»} - 0,28 \text{ «шкала ком Глазго»})$ , эффективность 90,3%.

$P=f(-2,19 + 0,05 \text{ «возраст»} + 0,08 \text{ «ВПХ-РТ»} + 0,17 \text{ «механизм травмы»} - 0,33 \text{ «шкала ком Глазго»})$ , эффективность 91,2%.

Выявленные закономерности и формализованные в коэффициентах модели прогнозирования летального исхода лечения травмы таза легли в основу программных реализаций. Для удобства прогнозирования численные калькуляторы задействуют в расчетах все специфицированные модели, что позволяет использовать любую из шкал.

Калькуляторы составлены в нескольких двух вариантах. Первый создан в среде EXCEL и может применяться для анализа массовых данных в целях усовершенствования моделей и медицинских исследований. В дополнение к формулам в книге, обрабатывающим заполненные строки, был добавлен скрипт, написанный на Visual Basic for Application, в котором ввод данных осуществляется через поля формы. Расчет выполняется после нажатия кнопки «Прогноз», при этом введенные данные и результаты расчета добавляются в конец таблицы на листе EXCEL. Переход от работы непосредственно в ячейках EXCEL к вводу данных с помощью полей формы позволил автоматизировать и унифицировать кодировку параметров, используемых в расчетах, поскольку они выбираются из выпадающего списка. Для совмещения обоих методов на лист была добавлена кнопка вызова формы. Это позволяет добавлять данные одного пациента с помощью формы, а данные большого количества пациентов – копированием их в соответствующие ячейки.

Второй вариант калькулятора представлен в виде отдельно действующего программного продукта, небольшого (один исполняемый файл ~40мб) приложения. Все разработанные формулы для расчета были перенесены в программу Калькулятор, реализованную на языке программирования Python. Ввод данных осуществляется через поля Калькулятора (рисунок 6). Использование Python позволило интегрировать рассматриваемый функционал в разрабатываемую систему поддержки принятия врачебных решений (СППВР). При использовании Калькулятора в рамках СППВР можно воспользоваться сведениями о пациенте, хранящемся в базе данных.

The image shows a software window titled "calc" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several input fields and a button:

- Возраст**: A text input field.
- Хотябы один из**: A section containing four stacked text input fields:
  - Тяжесть повреждения суммарная по Шибину
  - Тяжесть повреждения по ВПХ-П(МТ)
  - Тяжесть повреждения по ISS
  - Тяжесть повреждения по ВПХ-РТ
- По механизму**: A dropdown menu.
- Глазго(SCG)**: A text input field.
- Оценка**: A text input field.
- ПРОГНОЗ**: A button.
- Расчёт по Цибину**: A section with two text input fields labeled "Вероятность" and "Прогноз".
- Расчёт по ВПХ-П(МТ)**: A section with two text input fields labeled "Вероятность" and "Прогноз".
- Расчёт по ISS**: A section with two text input fields labeled "Вероятность" and "Прогноз".
- Расчёт по ВПХ-РТ**: A section with two text input fields labeled "Вероятность" and "Прогноз".

Рисунок 6. Построение индивидуального прогноза с помощью программы Калькулятор

Программа «Калькулятор по тяжести травмы таза» прошла апробацию у представителей медицинского сообщества (на кафедре военно-полевой хирургии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, кафедре травматологии и ортопедии ПСПБГМУ им. акад. И.П. Павлова, отделах сочетанной травмы и травматологии, ортопедии и вертебрологии СПбНИИ СП им. И.И. Джанелидзе). В ходе апробации было подтверждено удобство использования. Предварительная оценка точности прогнозов также является удовлетворительной.

**В шестой главе** проведено обобщение зависимостей между основными геометрическими параметрами сагиттального баланса, как определенными по рентгенограммам, предоставленными НИИТОН СГМУ, так и по литературным источникам. Были выбраны статьи, в которых в виде графиков были опубликованы исходные данные измеренных параметров сагиттального баланса. Затем данные из этих статей были оцифрованы и использованы при построении новых обобщающих зависимостей. Сагиттальный баланс может быть описан с помощью угловых позвоночно-тазовых параметров: тазовый индекс (Pelvic Incidence – PI), поясничный лордоз (Lumbar Lordosis – LL), наклон таза (Pelvic Tilt – PT) и наклон крестца (Sacral Slope – SS). Несбалансированный позвоночник коррелирует с потерей качества жизни пациента и прогрессирующей болью в пояснице, и может потребовать хирургического лечения.

Изучению сагиттального баланса посвящены работы многих современных авторов. Несмотря на то, что в современной научной литературе опубликовано множество формул, связывающих основные угловые параметры сагиттального баланса, их применение в клинической практике затруднено. Это связано с тем, что разные авторы публикуют различные формулы, полученные на собственных ограниченных выборках.

По литературным данным и по данным рентгенограмм пациентов НИИТОН СГМУ были разработаны формулы, связывающие параметры сагиттального баланса.

Выборки оцифрованных значений параметров сагиттального баланса из статей сравнивались друг с другом по следующей методике. Данные из всех источников объединялись в одну выборку, по которой рассчитывалась линейная регрессионная зависимость. Например, для параметров LL и PI – это формула  $LL = a_1 \cdot PI + b_1$ . На основе полученного «общего» уравнения регрессии вычислялись расчетные значения зависимой переменной  $LL_{ci} = a_1 \cdot PI_i + b_1$  для каждого экспериментального значения  $PI_i$ . Затем вычислялись остатки, то есть разности между экспериментальными и расчетными значениями ( $LL_i - (a_1 \cdot PI_i + b_1)$ ).

Затем подмножества остатков, полученные по данным из различных работ, сравнивались между собой по методике однофакторного дисперсионного анализа. Подсчитывались средние по каждому подмножеству стандартные отклонения и ошибки средних. Затем вычислялись попарные разности между средними и ошибки этих разностей. Отношение разности к соответствующей ошибке разности сравнивалось с верхней 5% точкой

распределения Стьюдента при степени свободы, равной сумме объемов двух выборок минус два. Если отношение разности к ошибке разности было меньше этой величины, подмножества остатков можно было считать частью одной генеральной совокупности и, соответственно, для описания зависимости между параметрами сагиттального баланса ПТК, установленных в различных статьях, можно пользоваться единой регрессионной зависимостью.

Взаимосвязь параметров LL и PI изучалась на основании результатов 638 попарных измерений, включающих представленные в литературе и данные пациентов НИИТОН СГМУ (в дальнейшем – результаты измерений\_). Была построена линейная регрессионная зависимость

$$LL = 0,502*PI + 33,90. \quad (2)$$

Анализ остатков от регрессии на основании критерия Стьюдента показал, что данные из литературных источников и результаты измерений являются частью одной генеральной совокупности и формула (2) справедлива для зависимости LL(PI) (рисунок 7)

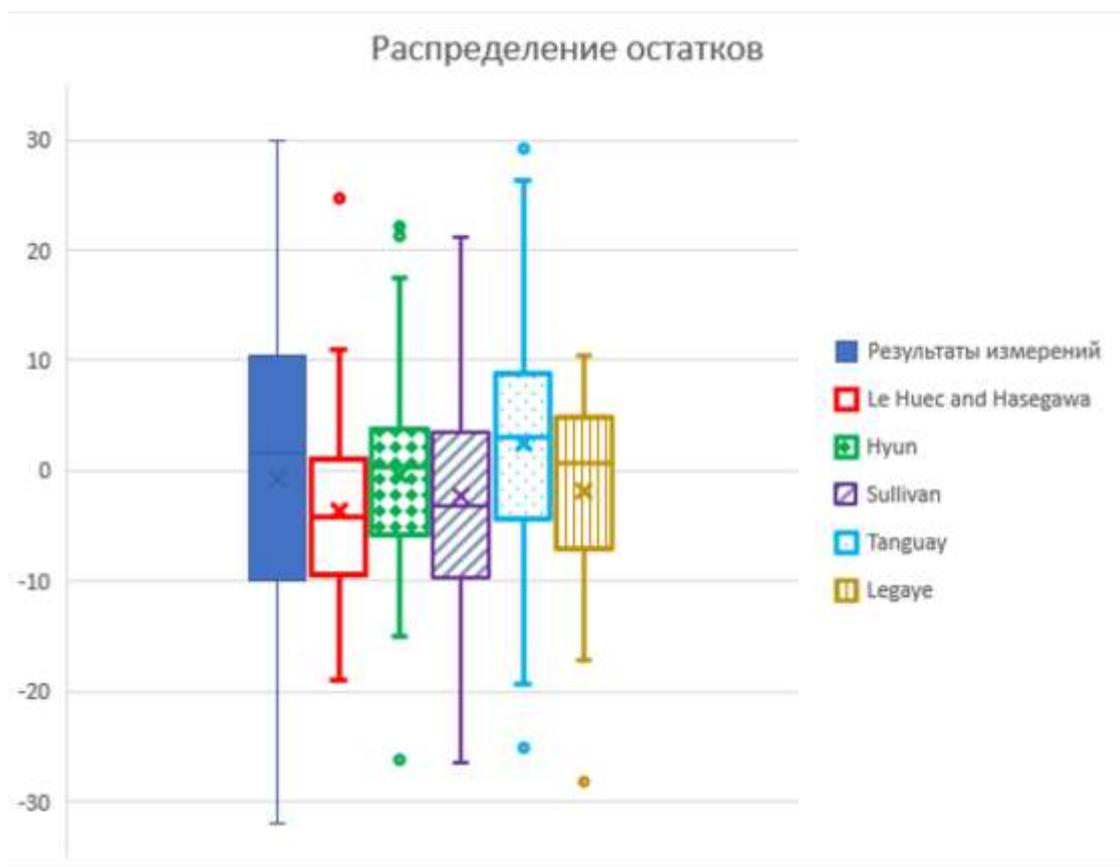


Рисунок 7. Распределение остатков от регрессионной зависимости параметров LL от PI (2) по литературным данным и результатам измерений.

Горизонтальная черта – медиана, верхняя и нижняя границы прямоугольников – квантили 0,75 и 0,25, косой крестик – среднее.

Зависимость параметра SS от PI изучалась на основании результатов измерений, дополненных литературными данными. По 191 результатам попарных измерений была построена линейная регрессионная зависимость

$$SS = 0,476*PI + 15,62. \quad (3)$$

Анализ остатков от регрессии показал, что данные из литературных источников и результаты измерений являются частью одной генеральной совокупности и формула (3) справедлива для зависимости SS(PI) (рисунок 8).

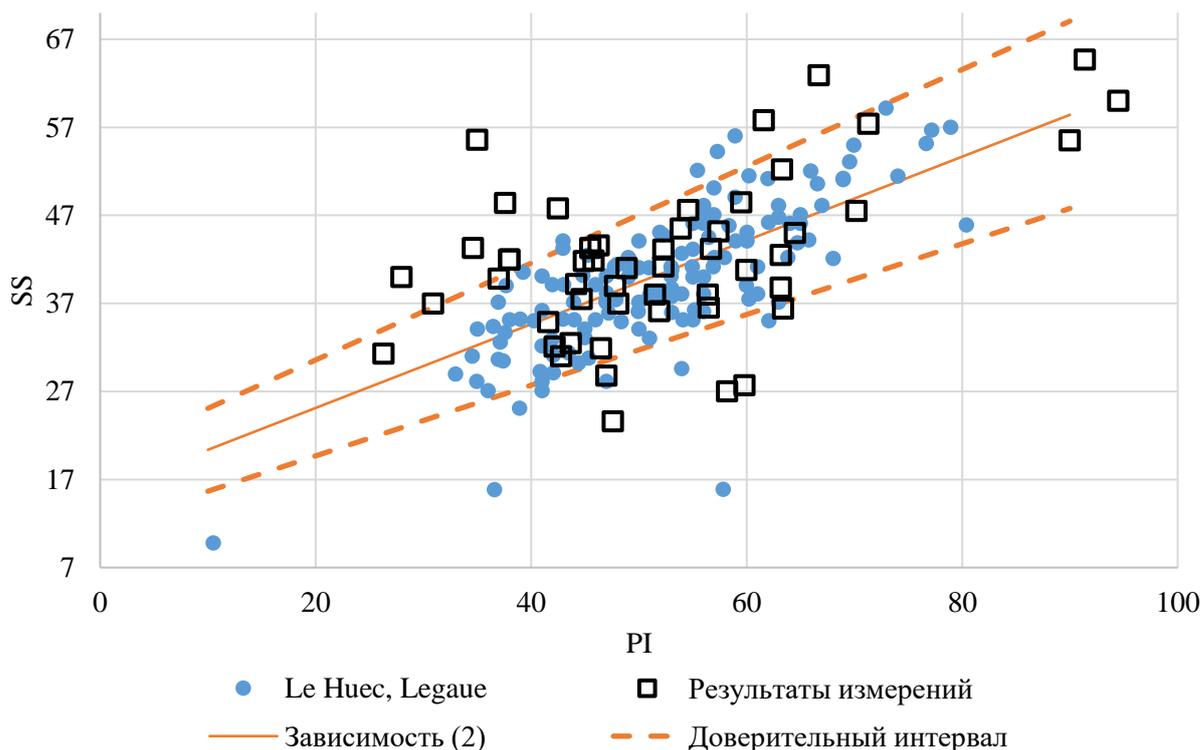


Рисунок 8. Зависимость параметров Sacral Slope от Pelvic Incidence по литературным данным и результатам измерений

Формула  $PT(PI)$  была получена из формул (2 и 3) с учетом геометрической связи между PI, PT и SS:  $PI = PT + SS$ .

$$PT = 0,524*PI - 15,62. \quad (4)$$

Для практического применения большой интерес представляет формула, связывающая три параметра – SS, PI и LL. Поскольку параметр PI мало изменяется как с возрастом, так и в случае большинства заболеваний и повреждений, можно предположить, что параметр SS компенсирует изменяющийся LL с учетом индивидуального для каждого человека и мало изменяющегося в течение жизни значения PI.

Для статистического анализа результаты исследований были дополнены

оцифрованными данными из двух статей. По 171 набору данных была построена зависимость

$$SS = 0,32*PI + 0,37*LL + 2,4 \quad (4)$$

Коэффициент корреляции для полученной зависимости равен 0,84.

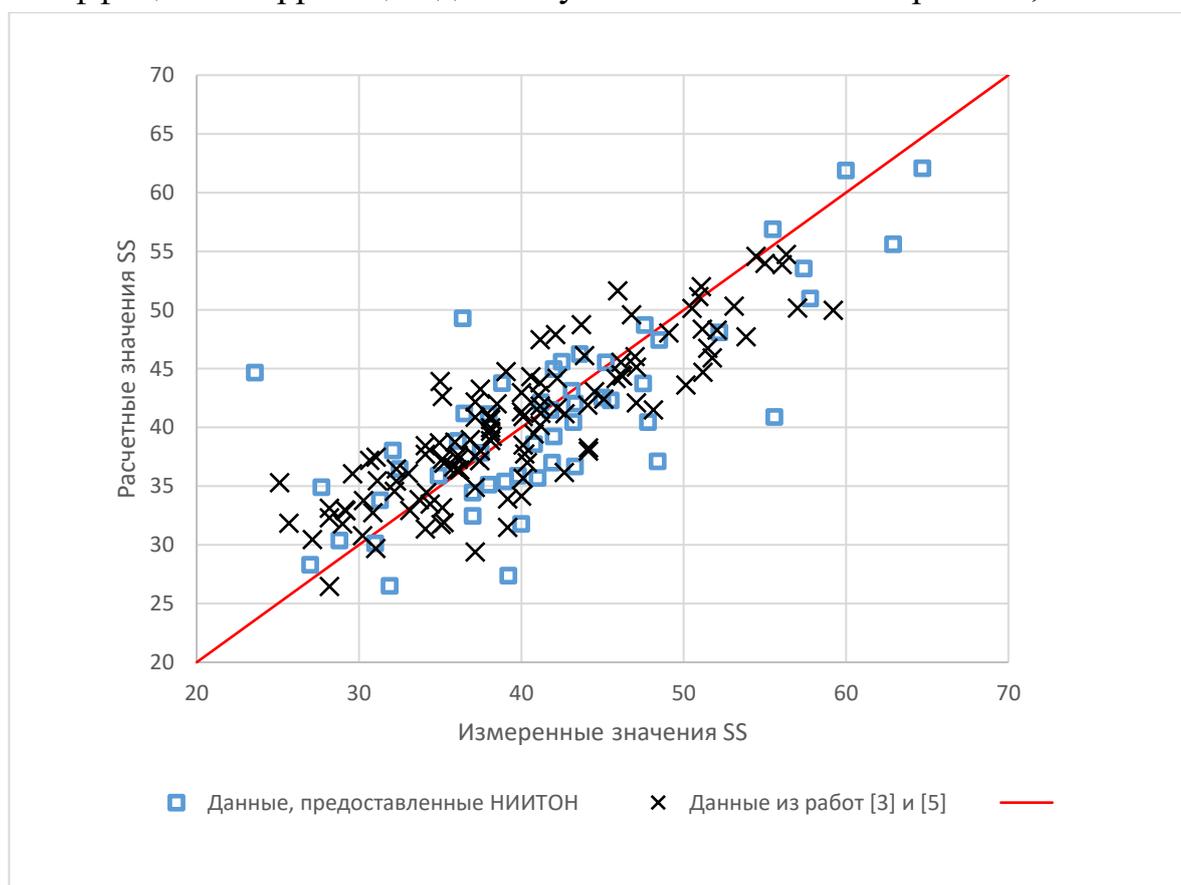


Рисунок 9. Сравнение измеренных значений SS и рассчитанных по формуле (4).

Анализ остатков от регрессии (гистограмма приведена на рисунке 10) показал, что три «выборки» остатков принадлежат одной генеральной совокупности и зависимость SS от PI и LL может быть описана единой формулой для всех трех исследований. Эта зависимость учитывает индивидуальный для каждого человека параметр PI, незначительно изменяющийся в течении жизни и при большинстве патологий

Эти формулы позволяют рассчитывать такие параметры, как LL, SS и PT через параметр PI. Разработанные формулы позволяют оценить, какой параметр и на сколько необходимо скорректировать при выполнении хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса конкретного пациента. Зависимости между PI, LL и SS у пациентов с патологиями ПТК в среднем могут быть описаны теми же формулами, что и у здоровых людей, но погрешность при применении установленных

зависимостей для оценки параметров сагиттального баланса пациентов с патологиями ПТК больше, чем у здоровых людей.

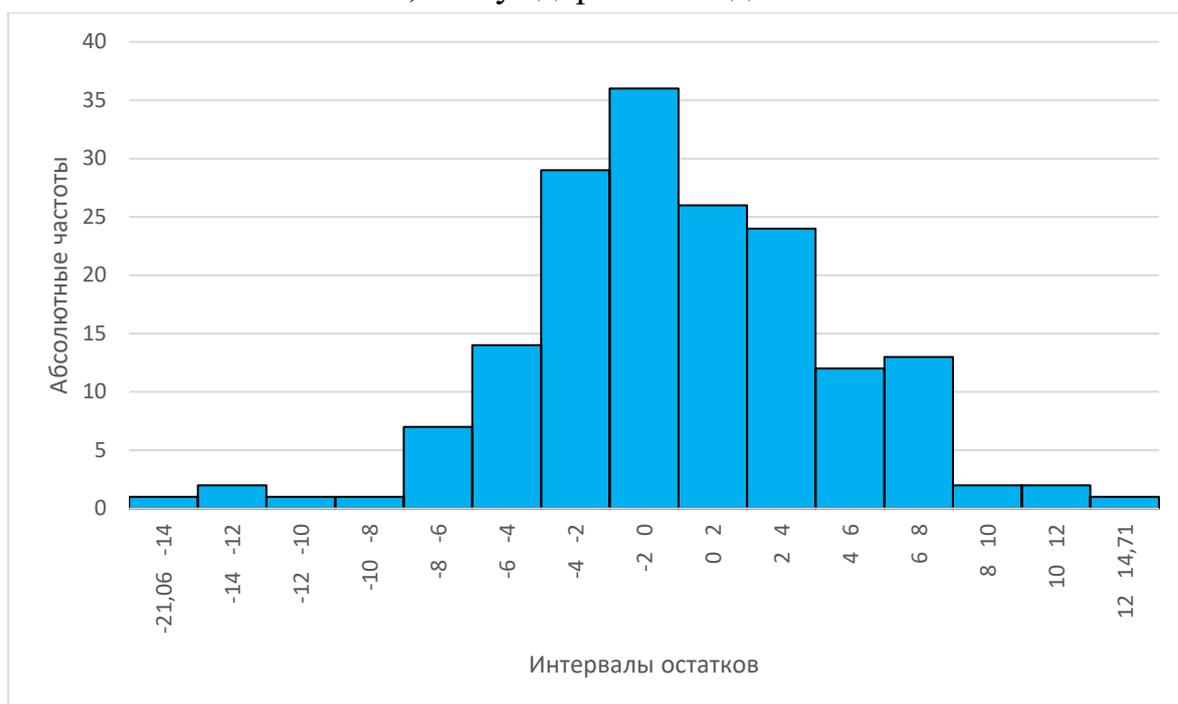


Рисунок 10. Гистограмма распределения остатков между измеренными значениями SS и рассчитанными по формуле (4).

Разработанные формулы использованы в мобильном приложении «СпиноМетр» и «Модуле геометрического планирования», являющегося частью «Системы поддержки принятия врачебных решений реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса».

**В заключении** приводятся основные результаты и делаются выводы:

Разработаны методы, алгоритмы и программные реализации для определения ряда параметров, необходимых для геометрического планирования и биомеханического моделирования хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса:

1. Разработана программа для анализа и предварительной обработки рентгенограмм и компьютерных томограмм.

2. Получена зависимость для определения модуля Юнга по данным компьютерной томографии. Полученные данные о свойствах костных тканей, необходимые для биомеханического моделирования, внесены в базу данных «Механическая», являющейся частью «Системы поддержки принятия врачебных решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса» (СППВР).

3. Разработаны калькуляторы для прогноза состояния пациента в послеоперационном периоде.

4. Установлены взаимосвязи между параметрами сагиттального баланса на основе анализа рентгенограмм.

Результаты исследований использованы при разработке «Системы поддержки принятия врачебных решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса».

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)**

### **В изданиях из списка ВАК РФ и базы Scopus:**

1. Бессонов Л. В., Голядкина А. А., Дмитриев П. О., Доль А. В., Золотов В. С., Иванов Д. В., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю., Титова Ю. И., Ульянов В. Ю., Харламов А. В. Построение зависимости между значением модуля Юнга и числами Хаунсфилда губчатой кости головок бедра // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Сер.: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 182–193.

### **В изданиях из базы Scopus:**

2. The Dependence of Young's Modulus of Trabecular Bony Tissue on its Density According to Computed Tomography / Pavel O. Dmitriev, Anastasiya A. Golyadkina, Leonid V. Bessonov, Irina I. Kirillova, Leonid Yu. Kossovich, Alexander S. Falkovich В сборнике: Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE. Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems XVIII. 2019. С. 112291L. <https://doi.org/10.1117/12.2545077>

### **В прочих изданиях:**

3. Концепция разработки системы поддержки принятия врачебных решений в хирургии позвоночно-тазового комплекса. / Бессонов Л.В., Велиев В.М., Иванов Д.В., Золотов В.С., Дмитриев П.О., Кириллова И.В., Колесникова А.С., Кудяшев А.Л., Фалькович А.С., Федонников А.С. В сборнике: Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине - 2018 Сборник статей Всероссийской школы-семинара. Под редакцией Д.А. Усанова. 2018. С. 126-128.

4. Разработка подхода для усовершенствования метода активных контуров. / Колесникова А.С., Бессонов Л.В., Лунева А.Д., Дмитриев П.О., Матершев И.В., Курчаткин А.А., Золотов В.С., Сидоренко Д.А., Чувашкин В.К., Варюхин А.А., Гущина С.Г. Врач и информационные технологии. 2018. № 3. С. 61-72.

5. Дмитриев П. О., Фалькович А. С. Определение модуля Юнга губчатой костной ткани по данным компьютерной томографии // Математическое моделирование и биомеханика в современном университете. Тезисы докладов

XIV Всероссийской школы. Ростов-на-Дону – Таганрог : Изд. ЮФУ, 2019. С. 48.

**Программы для ЭВМ, получившие гос. регистрацию:**

6. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020662530 Российская Федерация. Модуль двумерных твердотельных моделей для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Велиев, В.М., Дмитриев, П.О., Доль, А.В., Колесникова, А.С., Курчаткин, А.А., Бескровный, А.С., Донник, А.М., Золотов, В.С., Варюхин, А.А., Амелин, Р.В., Левченко, К.К. – Заявка № 2020661526 от 2.10.2020 ; опубл. 15.10.2020.

7. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2020621997 Российская Федерация. Датасет анонимизированный разметок компьютерных томограмм для обучения искусственной нейронной сети автоматическому распознаванию позвонков в случае 2D для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Дмитриев, П.О., Колесникова, А.С., Бескровный, А.С., Донник, А.М., Левченко, К.К., Матершев, И.В.– Заявка № 2020621713 от 1.10.2020 ; опубл. 22.10.2020.

8. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2020622181 Российская Федерация. База данных «Медицинская» для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Велиев, В.М., Харламов, А.В., Матершев, И.В., Коссович, С.Л., Маханьков, А.В., Сидоренко, О.В., Курчаткин, А.А., Голядкина, А.А., Дмитриев, П.О., Колесникова, А.С., Варюхин, А.А., Амелин, Р.В., Федонников, А.С., Ульянов, В.Ю., Левченко, К.К., Шульга, А.Е., Рожкова, Ю.Ю., Лихачев, С.В., Горякин, М.В., Фроленков, А.В., Сидоренко, Д.А.– Заявка № 2020621719 от 1.10.2020 ; опубл. 6.11.2020.

9. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2019622160 Российская Федерация. База данных «Механическая» для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений / Бессонов, Л.В., Велиев, В.М., Голядкина, А.А., Дмитриев, П.О., Доль, Д.В., Иванов, Д.В., Кириллова, И.В., Коссович, Л.Ю., Матершев, И.В., Маханьков, А.В., Сидоренко, Д.А., Фалькович, А.С., Харламов, А.В.– Заявка № 2019622074 от 13.11.2019 ; опубл. 22.11.2019.

10. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2021621551 Российская Федерация. База данных «Медицинская версии 2.0» для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Велиев, В.М., Харламов, А.В., Матершев, И.В., Коссович, С.Л., Маханьков, А.В., Хоминец В.В., Курчаткин, А.А., Голядкина, А.А., Дмитриев, П. О., Колесникова, А.С., Варюхин, А.А., Амелин,

Р.В., Федонников, А.С., Ульянов, В.Ю., Левченко, К.К., Шульга, А.Е., Рожкова, Ю.Ю., Лихачев, С.В., Горякин, М.В., Сидоренко, О.В., Кудяшев А.Л.

11. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021661891 Российская Федерация. Модуль трехмерных твердотельных моделей для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Велиев, В.М., Дмитриев, П.О., Курчаткин, А.А., Лемешкин М.О., Доль, А.В., Колесникова, А.С., Донник, А.М., Бескровный, А.С., Золотов, В.С., Варюхин, А.А., Амелин, Р.В. – Заявка № 2021660997 от 12.07.2021 ; опубл. 19.07.2021.

12. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021661851 Российская Федерация. Программное обеспечение для ведения регистра пациентов с патологиями позвоночно-тазового комплекса / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Велиев, В.М., Харламов, А.В., Дмитриев, П.О., Сидоренко, Д.А. – Заявка № 2021660925 от 9.07.2021 ; опубл. 16.07.2021.

13. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021661897 Российская Федерация. Модуль прогнозирования для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D / Коссович, Л.Ю., Кириллова, И.В., Фалькович, А.С., Бессонов, Л.В., Иванов, Д.В., Дмитриев, П.О., Харламов, А.В., Донник, А.М. – Заявка № 2021660916 от 9.07.2021 ; опубл. 19.07.2021.