TIBBIYOT
TA'LIMI & INNOVATSIYALARI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
19 20
TOSHKENT TIBBIYOT AKADEMIYASI

Google scholar

PubMed MEDLINE

NIH U.S. National Library of Medicine National Institutes of Health | Advancing Health Through Knowledge



- 14.00.00 - Tibbiyot fanlari;
- 14.00.01 - Akusherlik va ginekologiya;
- 14.00.02 - Morfologiya;
- 14.00.03 - Endokrinologiya;
- 14.00.04 - Otorinolaringologiya;
- 14.00.05 - Ichki kasalliklar;
- 14.00.06 - Kardiologiya;
- 14.00.07 - Gigiena;
- 14.00.08 - Oftal'mologiya;
- 14.00.09 - Pediatriya;
- 14.00.10 - Yuqumli kasalliklar;
- 14.00.11 - Dermatologiya va venerologiya;
- 14.00.12 - Tibbiy reabilitologiya;
- 14.00.13 - Nevrologiya;
- 14.00.14 - Onkologiya;
- 14.00.15 - Patologik anatomiya;
- 14.00.16 - Normal va patologik fiziologiya;
- 14.00.17 - Farmakologiya va klinik farmakologiya;
- 14.00.18 - Psixiatriya va narkologiya;
- 14.00.19 - Klinik radiologiya;
- 14.00.20 - Tibbiy genetika;
- 14.00.21 - Stomatologiya;
- 14.00.22 - Travmatologiya va ortopediya;
- 14.00.23 - Hamshiralik ishini tashkil etish;
- 14.00.24 - Sud tibbiyoti;
- 14.00.27 - Xirurgiya;
- 14.00.28 - Neyroxirurgiya;
- 14.00.41 - Xalq tabobati;
- 14.00.35 - Bolalar xirurgiyasi;
- 14.00.34 - Yurak-qon tomir xirurgiyasi

№10-SON

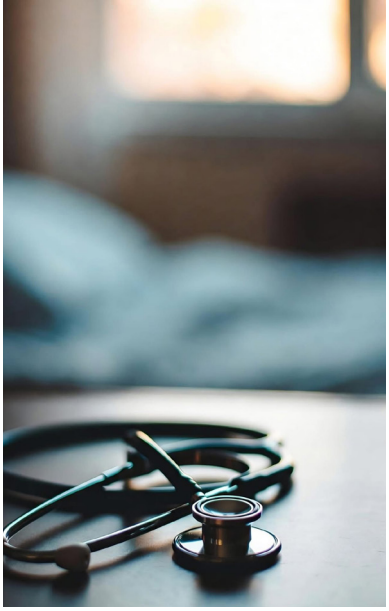
2026-yil, oktabr

tibbiyot-talimi-va-innovatsiyalari.uz

https://t.me/tibbbiyot_2100

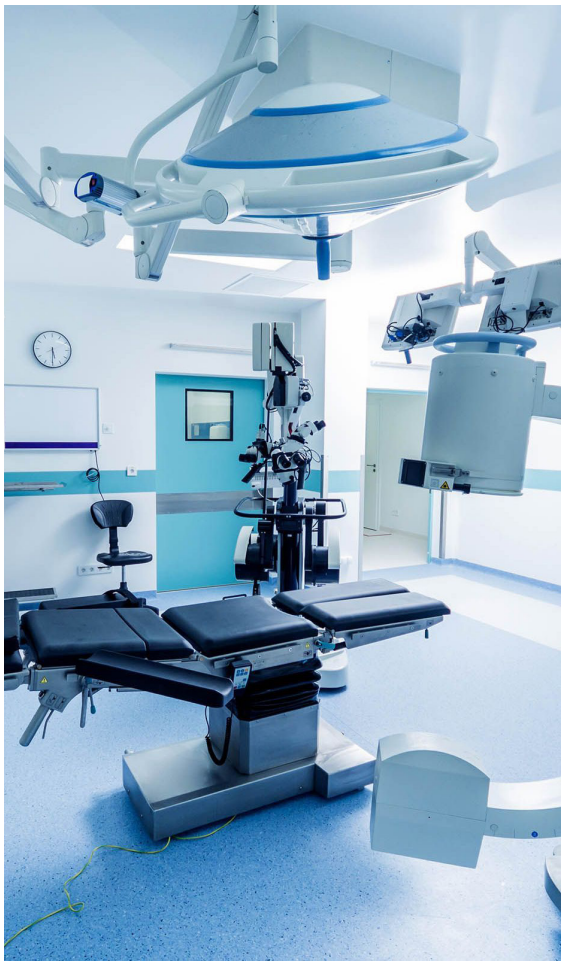
Litsenziya raqami: №745444













Tahrir hay’ati a’zolari:



BOSH MUHARRIR:
Shuhrat Baymuradov Abdujalilovich
tibbiyot fanlari doktori (DSc), professor



BOSH MUHARRIR O‘RINBOSARI:
Iminov Komiljon Odiljonovich
tibbiyot fanlari bo‘yicha falsafa doktori

“Tibbiyot ta'limi va innovasiyalari” ilmi elektron jurnali 29.04.2025-yildan O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan C-5669801 reyestr raqami tartibi bo‘yicha ro‘yxatdan o‘tkazilgan. Litsenziya raqami: №745444.

Tahrir hay’ati a’zolari:



Sharipov Kongratbay Avezimbetovich
Texnika fanlari doktori (DSc), professor



Ishanqulov Artiqboy Eshboyevich
Biologiya fanlari doktori (DSc), professor



Otamuradov Furqat Abdukarimovich
tibbiyot fanlari doktori (DSc), dotsent.



Shuxrat Jumayevich Teshayev
tibbiyot fanlari doktori (DSc), professor



Oral Aminovna Ataniyazova
tibbiyot fanlari doktori (DSc), professor



Jalolova Feruza Maxamatjanovna
Tibbiyot fanlari bo‘yicha falsafa doktori (DSc), dotsent



Uraqov Shokir Ulashovich
tibbiyot fanlari doktori doktori (DSc)

Aripkhodjaeva Shakhzoda
resident doctor in national medical center

"TIBBIYOT TA’LIMI VA INNOVATSIYALARI"
ilmiy elektron jurnali O‘zbekiston Respublikasi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi (AOKA) tomonidan 2024-yil 9-oktabrdan boshlab c-5669651 raqami ostida rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilgan.

Murojaat uchun telefon:
+998 97 748 70 03
Email: @munis_sm

MUNDARIJA

KARDIORENAL SAMARADORLIK NUQTAI NAZARIDAN FINERENON VA EPLERENONNING CHAP QORINCHA OTISH FRAKSIYASI SAQLANGAN YURAK YETISHMOVCHILIGI BEMORLARIDAGI QIYOSIY BAHOLANISHI 21
Qodirova Guljahon Ramozonovna, Tursunova Laylo Dilshatovna

GIPERSPEKTRAL TASVIRLARNI TASNIFLASHDA FAZOVIY SIZIB CHIQISH NIMANI O‘LCHAYDI? YAQINLIK, KO‘RILMAGAN SINFLAR VA SINFLAR TARKIBIGA AJRATISH 27
Tuxtamurodov Nozir Ulmas o‘g‘li

DIABETIK PANJA SINDROMINING JARROHLIK ASORATLARINI DAVOLASHDA YANGI YONDASHUVLAR 34
Akmaljon Olimov

FARG‘ONA VODIYSI SHAROITIDA GERIATRIK YOSHDAGI BEMORLARDA O‘PKA VA EKSTRAPULMONAL SILNING KLINIK-EPIDEMIOLOGIK XUSUSIYATLARI (2020–2025) 40
Maxsumova Dinora Kamolovna, Zuhriddin Salohiddinovich Salohiddinov

ANTIBIOTIKLARGA CHIDAMLI BAKTERIYALAR: ZAMONAVIY TIBBIYOT MUAMMOSI 46
Abdisamatova Sarviniso Adisamatovna

EFFECTIVENESS OF TREATMENTS FOR CORONARY ARTERY DISEASE 50
Alfiya S. Shamsiddinova, Xursandbek A. Ergashaliyev, O‘g‘iloy M. Umaraliyeva, Ibrokhimjon M. Xursanov

KARDIORENAL SINDROMDA GENETIK VA EPIGENETIK DETERMINANTLAR HAMDA OQSIL BIOMARKERLAR PANELI: INTEGRATSION DIAGNOSTIK YONDASHUV 55
Korakulova Zilola Tilovmurodovna, Tursunkulov Ortikali, Ahmedova Umida Maxmudovna

ANDIJON VILOYATI AYOLLAR POPULYATSIYADA QALQONSIMON BEZ PATOLOGIYALARI FONIDA SUT BEZI SARATON VA SARATON OLDI HOLATLARINI UCHRASH CHASTOTASI 65
Mahmudjonova Sayyoraxon Shavkatbek qizi

SURUNKALI TROMBOEMBOLIK O‘PKA GIPERTENZIYASI: PATOGENEZDAN DAVOLASH STRATEGIYASINI TANLASHGACHA 70
Sunnatova Gulbahor Ismatovna, Tashinova Laylo Xolmurodovna, Ergasheva Nigora Utkurovna, Xolmirzayev Baxtiyor Turgunovich

TISH OLINGANDAN KEYIN PRP QO‘LLASHNING KLINIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH 77
Muqimov Odiljon Axmadjonovich, Urinova Gulnoza Shuxrat qizi

TISH PROTEZLARI, JAG‘ MODELLARI VA JARROHLIK SHABLONLARINI YARATISHDA 3D-BOSMADAN FOYDALANISH 84
Abduganiyeva Shaxista Xodjiyevna, Axmedov Lutfullo

SPORTCHILARDA KORONAR ARTERIYA KASALLIGINI YENGIL SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA ERTA ANIQLASH 89
Muksimova Shahnoza Shamuhitovna, Umirzakova Sabina Totlibayevna, Isxakova Nargiza Patxillayevna

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОТОКОВОЙ ТЕРАПИИ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАЛИЗОВАННОГО ПАРОДОНТИТА У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА 103
Меджидов Меджид Нисрединович, Кафаров Ризван Тельманович, Тешабоев Мухаммадяхё Гуломкодирович, Рахматуллаев Азизбек Ахмадулло угли

ОТДАЛЁННЫЕ ОСЛОЖНЕНИЯ НЕКРОТИЧЕСКОГО ЭНТЕРОКОЛИТА НОВОРОЖДЁННЫХ ПРИ ПРИКРЫТОЙ ПЕРФОРАЦИИ УЧАСТКА ПОПЕРЕЧНОЙ ОБОДОЧНОЙ КИШКИ 122
Хамраев Абдурашид Журакулович, Акмалова Юлдуз Илхомовна, Каримов Итиёр Музаффарович

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И УСЛОВИЯ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ 132
Шухратова Мафтуна Мухаммад-Али кизи

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ВРОЖДЕННОГО ВЫВИХА БЕДРА У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ВОЗРАСТА 139
Файзиматов Музаффар Азамович

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКТИВНЫМ ОПЕРАЦИЯМ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ 144
Шухратова Мафтуна Мухаммад-Али кизи

ZRR VA AUTIZMLI BOLALARDA KOGNITIV-FUNKSIONAL REABILITATSIYADA MONTESSORI METODIKASINING O‘RNI 152
Odilbekova Hurliqo, Kimsanboyeva Odina, Jahonboyeva Dilorom, Majidova Yoqutxon Nabievna

ОТ ВАЛИДИРОВАННОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОРТОГНАТИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ К БИОМЕХАНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПЕРСПЕКТИВЫ ГИБРИДНОГО РАСШИРЕНИЯ PINN И FEA ДЛЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ 158
Шухратова Мафтуна Мухаммад-Али кизи

ОТ ВАЛИДИРОВАННОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОРТОГНАТИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ К БИОМЕХАНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПЕРСПЕКТИВЫ ГИБРИДНОГО РАСШИРЕНИЯ PINN И FEA ДЛЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ

Шухратова Мафтуна Мухаммад-Али кизи
доктор философии (PhD) по стоматологии,
Ташкентский государственный медицинский университет,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Цель работы - представить валидированные клинические результаты цифровой платформы CephaloPlan и обосновать методологическую концепцию её расширения с помощью гибридной модели, объединяющей физически информированную нейронную сеть и анализ методом конечных элементов (PINN–FEA). Проанализированы ретроспективные данные 100 пациентов, лечившихся в 2021–2025 гг.: 50 пациентов прошли традиционную предоперационную подготовку, у 50 применяли CephaloPlan и индивидуальные 3D-печатные хирургические сплинты. Точность переноса плана в операционное поле составила 1,2 ± 0,5 мм; частота послеоперационных осложнений снизилась с 14 до 6% ($p < 0,05$), продолжительность операции сократилась на 25–30 минут, период восстановления составил 6,5 недели ($p = 0,01$). Предлагаемое расширение PINN–FEA пока не реализовано и рассматривается исключительно как направление дальнейшей разработки. Его эффективность должна быть подтверждена вычислительной, экспериментальной и проспективной клинической валидацией.

Ключевые слова: цифровое хирургическое планирование, цефалометрический анализ, физически информированные нейронные сети, метод конечных элементов, биомеханическое моделирование, ортогнатическая хирургия, 3D-печать.

Annotatsiya: Maqolada CephaloPlan raqamli platformasining tasdiqlangan klinik natijalari bayon etilgan va uni fizikaga asoslangan neyron tarmoq hamda chekli elementlar tahlilini birlashtiruvchi PINN–FEA moduli bilan kengaytirish konsepsiyasi taklif qilingan. 2021–2025-yillarda davolangan 100 nafar bemorning umumlashtirilgan ma'lumotlari tahlil qilindi. Raqamli rejalashtirish operatsiya rejasini 1,2 ± 0,5 mm aniqlikda ko'chirish, asoratlar chastotasini 14 foizdan 6 foizgacha kamaytirish va operatsiya vaqtini 25–30 daqiqaga qisqartirish imkonini berdi. PINN–FEA moduli hozircha ishlab chiqilmagan; uning samaradorligi keyingi hisoblash, tajriba va klinik tekshiruvlarda baholanishi kerak.

Kalit so'zlar: raqamli jarrohlik rejalashtirish, sefalometriya, fizikaga asoslangan neyron tarmoqlar, chekli elementlar tahlili, biomexanika, ortognatik jarrohlik.

Abstract: This perspective paper reports the validated clinical performance of CephaloPlan and proposes a hybrid physics-informed neural network and finite element analysis extension. Retrospective aggregate data from 100 patients treated in 2021–2025 were analysed: 50 received conventional preparation and 50 underwent CephaloPlan-guided planning with individual 3D-printed splints. Plan-to-surgery transfer accuracy was 1.2 ± 0.5 mm; postoperative complications decreased from 14% to 6% ($p < 0.05$), operative time was reduced by 25–30 minutes, and recovery time was 6.5 weeks ($p = 0.01$). The proposed PINN–FEA component has not yet been implemented. Its feasibility and clinical value require dedicated computational, experimental, and prospective validation.

Key words: digital surgical planning, cephalometric analysis, physics-informed neural networks, finite element analysis, biomechanical modelling, orthognathic surgery, 3D printing.

ВВЕДЕНИЕ

Реконструктивные и ортогнатические операции требуют точного понимания анатомии и сил, действующих на костные структуры до, во время и после вмешательства. Недостаточная предоперационная подготовка может привести к нарушению окклюзии, несостоятельности фиксации, перегрузке височно-нижнечелюстного сустава и скелетному рецидиву [2, 3]. Трёхмерная визуализация, компьютерное планирование и аддитивное производство повысили точность и воспроизводимость хирургического лечения зубочелюстных деформаций. Для решения этих задач была разработана и внедрена платформа CephaloPlan, предназначенная для автоматизированного цефалометрического анализа, трёхмерной реконструкции и планирования ортогнатических операций [1]. Платформа определяет анатомические ориентиры, формирует 3D-модели и обеспечивает изготовление индивидуальных хирургических сплинтов, однако не рассчитывает внутренние напряжения и распределение нагрузки в костной ткани.

Метод конечных элементов (FEA) остаётся основным инструментом биомеханического моделирования в челюстно-лицевой хирургии, однако построение и расчёт индивидуальной модели могут занимать часы или дни [3, 4]. Физически информированные нейронные сети (PINN) включают дифференциальные уравнения и граничные условия непосредственно в функцию потерь и потенциально позволяют получать физически согласованные прогнозы значительно быстрее [5, 6]. Цель исследования - представить подтверждённые результаты применения платформы CephaloPlan и отдельно сформулировать методологию её перспективного расширения с использованием гибридного подхода PINN–FEA. Результаты, полученные при использовании платформы, и предполагаемые характеристики разрабатываемого модуля в настоящей статье принципиально разграничиваются.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Современное развитие реконструктивной и ортогнатической хирургии тесно связано с внедрением цифровых технологий, обеспечивающих повышение точности предоперационного планирования и воспроизводимости хирургических вмешательств. Трёхмерная визуализация, автоматизированный цефалометрический анализ, виртуальное хирургическое планирование и аддитивное производство позволяют создавать индивидуализированные модели челюстей и хирургические сплинты. Эти технологии способствуют более точному переносу виртуального плана в операционное поле и улучшают возможности предварительной оценки анатомических особенностей пациента. В то же время геометрическое моделирование само по себе не обеспечивает полноценной оценки распределения механических напряжений и деформаций в костной ткани [1, 2]. Важным инструментом изучения биомеханики челюстно-лицевой области является метод конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA). Он позволяет моделировать механическое поведение костных структур, оценивать распределение напряжений, деформации и реакцию тканей на приложенные нагрузки. В обзоре M. Lisiak-Myszke и соавторов рассмотрены возможности применения FEA в оральной и челюстно-лицевой хирургии, включая анализ биомеханических процессов при различных клинических сценариях [4]. Использование данного метода особенно актуально при планировании реконструктивных вмешательств, установке фиксирующих конструкций и оценке взаимодействия между костной тканью и имплантируемыми элементами. Однако точность результатов зависит от качества геометрической модели, характеристик конечно-элементной сетки, корректности граничных условий и достоверности заданных механических свойств тканей.

В исследовании B. Wan и соавторов рассмотрены вопросы биомеханической оценки при виртуальном хирургическом планировании реконструкции нижней челюсти [2]. Данное направление отражает переход от исключительно геометрического планирования к комплексному анализу предполагаемого механического поведения реконструируемых структур. Дополнительное значение имеет изучение распределения нагрузки в ортогнатической хирургии. M. B. Kasapoglu и Z. A. Akbiyik Az исследовали распределение нагрузки в субпериостальных имплантатах и мини-пластинах, применяемых в ортогнатической хирургии [3]. Подобные работы подчёркивают необходимость учитывать не только пространственное положение костных фрагментов, но и особенности передачи нагрузки через фиксирующие конструкции. Вместе с тем результаты отдельных биомеханических исследований не могут автоматически переноситься на другие модели и клинические ситуации без дополнительной проверки. Несмотря на широкие возможности FEA, его практическое использование в индивидуализированном хирургическом планировании ограничивается вычислительными затратами. Создание трёхмерной модели, формирование сетки, назначение свойств материалов, определение контактных взаимодействий и проведение расчётов могут требовать значительных вычислительных ресурсов. Эти ограничения особенно существенны, когда необходимо быстро оценить несколько

вариантов хирургического вмешательства или исследовать различные сценарии жевательной нагрузки. Поэтому одним из актуальных направлений исследований является разработка методов, способных ускорить получение биомеханических прогнозов при сохранении приемлемой точности и физической согласованности результатов.

Перспективным направлением вычислительной механики стало применение физически информированных нейронных сетей (Physics-Informed Neural Networks, PINN). M. Raissi, P. Perdikaris и G. E. Karniadakis предложили подход, при котором физические законы и дифференциальные уравнения включаются непосредственно в функцию потерь нейронной сети [5]. В отличие от моделей, обучаемых исключительно на экспериментальных данных, PINN могут учитывать уравнения, описывающие исследуемый процесс, а также начальные и граничные условия. Это позволяет формировать прогнозы с учётом известных физических закономерностей даже при ограниченном объёме размеченных данных. При этом эффективность метода зависит от корректности постановки физической задачи, выбора архитектуры сети, соотношения компонентов функции потерь и качества доступных наблюдений. В обзорной работе G. E. Karniadakis и соавторов рассмотрены основные принципы физически информированного машинного обучения и возможности его применения для решения задач прямого и обратного моделирования [6]. Авторы подчёркивают значение интеграции физических знаний и методов машинного обучения для анализа сложных систем. Вместе с тем применение PINN не гарантирует автоматического повышения точности или сокращения времени вычислений во всех задачах. При сложной геометрии, неоднородных свойствах материалов и сложных граничных условиях обучение сети может сопровождаться проблемами сходимости и несбалансированным влиянием отдельных компонентов функции потерь. Следовательно, использование PINN в биомеханике требует независимой оценки точности и устойчивости модели. Особый интерес представляет гибридный подход, объединяющий FEA и PINN. В такой модели расчёты методом конечных элементов могут использоваться для формирования обучающей выборки, а нейронная сеть — для приближённого воспроизведения зависимости между геометрией, механическими свойствами, нагрузками и результатами биомеханического анализа. В исследовании M. Ahmadi и соавторов изучалась интеграция FEA и PINN для биомеханического моделирования поясничного отдела позвоночника [7]. Эта работа демонстрирует применимость гибридной концепции в другой анатомической области, однако полученные авторами результаты не являются доказательством аналогичной точности для зубочелюстной системы. Перенос подхода на модели верхней и нижней челюстей потребует отдельной разработки, адаптации физических уравнений и проверки на независимых данных.

В систематизированном обзоре Z. Ren и соавторов рассмотрены эволюция методологии PINN, её теоретические основы и перспективы междисциплинарного применения [8]. Представленные в литературе подходы свидетельствуют о расширении возможностей физически информированного машинного обучения, но также указывают на необходимость решения вопросов вычислительной устойчивости, выбора параметров обучения и оценки обобщающей способности моделей. Для биомеханического моделирования челюстно-лицевой области эти аспекты имеют особое значение, поскольку ошибки в задании граничных условий, свойствах материалов или величине нагрузки способны существенно повлиять на прогнозируемое распределение напряжений. В контексте цифрового хирургического планирования особое значение приобретает возможность интеграции биомеханического моделирования в уже существующие программные платформы. CephaloPlan предназначена для цефалометрического анализа, трёхмерной реконструкции и подготовки индивидуальных хирургических сплинтов [1]. Её существующие функции обеспечивают геометрическую основу для потенциального построения конечно-элементных моделей. В перспективе интеграция отдельного PINN–FEA-модуля могла бы дополнить геометрическое планирование оценкой распределения напряжений и деформаций при различных сценариях нагрузки. Однако такая интеграция на данном этапе рассматривается как направление дальнейшей разработки, а не как реализованная или клинически валидированная функция платформы.

Таким образом, анализ литературы показывает, что FEA является значимым инструментом биомеханической оценки в челюстно-лицевой хирургии, а PINN представляют собой перспективный подход к ускорению вычислений с использованием физических ограничений. Гибридное объединение этих методов потенциально может расширить возможности цифрового планирования ортогнатических и реконструктивных операций. Вместе с тем остаются нерешёнными вопросы моделирования неоднородной костной ткани, определения её механических свойств на основании данных конусно-лучевой компьютерной томографии, корректного задания жевательных нагрузок и независимой проверки прогнозов. В связи с этим разработка гибридного модуля PINN–FEA для CephaloPlan должна сопровождаться последовательной вычислительной, экспериментальной и проспективной клинической валидацией.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе повторно анализируются обезличенные агрегированные результаты завершённого диссертационного исследования [1]. В 2021–2025 гг. обследованы 120 пациентов с зубочелюстными деформациями и дефектами; лечение проведено 100 пациентам (44 мужчины и 56 женщин в возрасте 18–65 лет). В группе сравнения (n = 50) применяли традиционную предоперационную подготовку. В основной группе (n = 50) использовали планирование с помощью CephaloPlan, конусно-лучевую компьютерную томографию (КЛКТ), внутриротовое оптическое сканирование и индивидуальные 3D-печатные окклюзионные сплинты. Минимальный срок наблюдения составил три месяца. Новых вмешательств или дополнительного сбора персональных данных для подготовки настоящей рукописи не проводилось.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

CephaloPlan представляет собой веб-платформу с клиентской частью на React.js, серверной частью на Flask/Django, базой данных PostgreSQL и REST API. Модули искусственного интеллекта реализованы с использованием TensorFlow, OpenCV и PyTorch. Для защиты данных предусмотрены аутентификация, HTTPS и шифрование [1]. Определение анатомических ориентиров на боковых телерентгенограммах выполняется с помощью свёрточной нейронной сети U-Net; на этапе разработки дополнительно использовали Faster R-CNN. Обучение проводилось на наборе данных IEEE ISBI 2015, включавшем 400 размеченных изображений, с использованием оптимизатора Adam, функции потерь Dice и стандартной аугментации данных. Координаты анатомических ориентиров используются для расчёта показателей SNA, SNB, ANB, Go–Gn и других цефалометрических параметров. Трёхмерные модели по данным КЛКТ формируются в программах 3D Slicer и Blender и экспортируются в формате STL. На независимой тестовой выборке из 50 изображений средняя ошибка сегментации составила 1,2 мм, обработка одного изображения занимала около 10 секунд, а соответствие автоматического плана оценке хирургов достигло 90%. В клинической группе точность переноса плана составила 1,2 ± 0,5 мм, частота послеоперационных осложнений снизилась с 14 до 6% ($p < 0,05$), продолжительность операции сократилась на 25–30 минут, а период восстановления составил 6,5 недели ($p = 0,01$). Корреляция между планируемым и достигнутым положением костных структур была высокой ($r = 0,92$ и $r = 0,78$) [1].

Таблица 1. Валидированные показатели платформы CephaloPlan

Показатель	Результат	Контекст
Точность ориентиров при обучении	95%	U-Net, IEEE ISBI 2015
Ошибка на независимом тесте	1,2 мм	50 изображений
Время обработки	≈10 с	**Одно изображение**
Согласие с хирургами	90%	**Автоматический план**
Перенос плана в операцию	1,2 ± 0,5 мм	**Основная группа, n = 50**
Осложнения	14% → 6%; $p < 0,05$	**Сравнение групп**
Сокращение операции	25–30 мин	**Основная группа**
Восстановление	6,5 недели; $p = 0,01$	**Основная группа**

В актуальной версии CephaloPlan анализирует геометрию, но не вычисляет напряжения и деформации. В рамках линейно-упругого приближения механическое поведение кортикальной и губчатой кости описывается уравнением равновесия $\nabla\cdot\sigma + f = 0$, обобщённым законом Гука $\sigma = \lambda(\nabla\cdot u) I + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)$ и соотношением $\varepsilon = \frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T)$. Граничные условия определяют ограничения перемещений и величины жевательной нагрузки. Эти уравнения приводятся в качестве теоретической основы будущего модуля, а не как описание уже выполненных расчётов. В PINN физические уравнения, граничные условия и доступные измерения объединяются в функции потерь: $L = w_p d_e L_p d_e + w_\beta c L_\beta c + w d_a t_a L d_a t_a$ [5]. Такой подход снижает зависимость от объёма размеченных данных, однако требует контроля баланса градиентов, корректного задания граничных условий и независимой проверки на задачах, не использованных при обучении [6, 8].

Таблица 2. Концептуальное сравнение вычислительных подходов

Критерий	FEA	Глубокое обучение	Гибрид PINN–FEA
Время расчёта	Часы–дни	Миллисекунды	Предположительно секунды после обучения
Физическая согласованность	Высокая	Не гарантирована	Задаётся функцией потерь
Потребность в данных	Полные условия задачи	Большая выборка	Данные и физические ограничения
Интерактивное применение	Ограничено	Возможно	Потенциально возможно; не проверено
Интерпретируемость	Высокая	Низкая	Умеренная–высокая

Этап 1. Реконструкция геометрии. Существующая и валидированная инфраструктура CephaloPlan формирует индивидуальные модели верхней и нижней челюстей, определяет координаты анатомических ориентиров и создаёт STL-поверхности. Эти данные могут быть использованы для построения конечно-элементной сетки. Этап 2. Формирование обучающих данных FEA. Для каждой модели предполагается назначать свойства материалов на основании данных о плотности, полученных при КЛКТ, и выполнять расчёты для сценариев двустороннего и одностороннего смыкания моляров, а также при резцовой нагрузке. Данный этап пока не выполнен. Этап 3. Обучение PINN. Предлагается обучать полносвязную нейронную сеть с использованием пространственных координат, компонентов перемещения, физических уравнений и данных FEA. Возможна двухфазная схема: предварительное обучение с учётом физических ограничений и последующая настройка на расчётных данных [6–8]. Сеть для моделирования челюстей пока не обучалась. Этап 4. Интеграция. После валидации модель может быть подключена в качестве отдельного REST API-сервиса и использоваться для визуализации карт напряжений совместно с геометрическим планом CephaloPlan. Однако архитектурная возможность интеграции не является доказательством клинической эффективности. Проверка должна проводиться последовательно: сначала путём сопоставления с эталонными расчётами FEA, затем на физических фантомах и только после этого - в рамках проспективного клинического исследования. Все приведённые ниже значения являются целевыми критериями будущего исследования, а не полученными результатами.

Таблица 3. Предлагаемый протокол валидации

Уровень	Метод	Показатель	Целевой критерий
In silico	**Сравнение с FEA**	**Ошибка перемещений / напряжений**	<5% / <8%
Фантом	**Тензометрия 3D-модели**	**Ошибка деформации**	<10% в 6 точках
Клинический	**Послеоперационная КЛКТ**	**Позиционная ошибка**	<2,0 мм
Вычислительный	**Измерение инференса**	**Время ответа**	<10 с

Подтверждённым результатом настоящей работы является функционирующая платформа CephaloPlan для цефалометрического анализа, 3D-реконструкции и изготовления хирургических сплинтов, апробированная на когорте из 100 пациентов. Моделирование напряжений, расчёты методом конечных элементов (FEA), обучение физически информированной нейронной сети (PINN) и интеграция этих компонентов пока не выполнены. Такое разграничение необходимо для того, чтобы перспективные показатели не воспринимались как клинически доказанные результаты. FEA широко применяется для анализа биомеханики челюстно-лицевой области, однако вычислительные затраты затрудняют его интерактивное использование [2–4]. Гибридный подход PINN–FEA продемонстрировал перспективность в другой анатомической области: в исследовании поясничного отдела позвоночника была достигнута точность 94,30% при прогнозировании свойств материала [7]. Этот показатель не относится к CephaloPlan и приводится исключительно как свидетельство принципиальной реализуемости данного подхода. В случае успешной разработки модуль сможет дополнять геометрическое планирование оценкой зон перегрузки височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) и концентрации напряжений в области фиксации. Основные ограничения концепции связаны с неоднородностью костной ткани, зависимостью оценки её механических свойств от данных КЛКТ, вариабельностью жевательной нагрузки и отсутствием собственных результатов моделирования PINN–FEA. Клиническое применение модуля до завершения независимой валидации недопустимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

CephaloPlan создаёт подтверждённую геометрическую и организационную основу для цифрового планирования ортогнатических операций. В клинической когорте точность переноса плана составила 1,2 ± 0,5 мм; применение платформы сопровождалось снижением частоты осложнений и сокращением продолжительности операции и периода восстановления. Гибридный модуль PINN–FEA представляет собой обоснованное, но пока нереализованное направление дальнейшего развития. Его точность, устойчивость и клиническая полезность должны быть установлены посредством поэтапной вычислительной, экспериментальной и проспективной проверки. Финансирование. Работа выполнена без внешнего финансирования. Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Этические аспекты. В настоящей статье повторно представлены обезличенные агрегированные результаты ранее завершённого диссертационного исследования. Новые вмешательства и дополнительный сбор персональных данных не проводились.

Список использованной литературы:

1. Shukhratova M. M. Preoperative preparation of the dentofacial system for reconstructive jaw surgery: PhD dissertation. Tashkent: Tashkent State Medical University; 2025.
2. Wan B., Charters E., Dunn M. et al. Biomechanical assessment in virtual surgical planning for mandibular reconstruction. Computers in Biology and Medicine. 2025;189:109843. doi:10.1016/j.compbiomed.2025.109843.
3. Kasapoglu M. B., Akbiyik Az Z. A. Comparison of load distribution in subperiosteal implants and mini plates in orthognathic surgery. International Journal of Medical Sciences. 2025;22(10):2257–2268. doi:10.7150/ijms.111111.
4. Lisiak-Myszke M., Marciniak D., Bieliński M. et al. Application of finite element analysis in oral and maxillofacial surgery - a literature review. Materials. 2020;13(14):3063. doi:10.3390/ma13143063.
5. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: a deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational Physics. 2019;378:686–707. doi:10.1016/j.jcp.2018.10.045.
6. Karniadakis G. E., Kevrekidis I. G., Lu L. et al. Physics-informed machine learning. Nature Reviews Physics. 2021;3(6):422–440. doi:10.1038/s42254-021-00314-5.
7. Ahmadi M., Biswas D., Paul R. et al. Integrating finite element analysis and physics-informed neural networks for biomechanical modeling of the human lumbar spine. North American Spine Society Journal. 2025;22:100598. doi:10.1016/j.xnsj.2025.100598.
8. Ren Z., Zhou S., Liu D., Liu Q. Physics-informed neural networks: a review of methodological evolution, theoretical foundations, and interdisciplinary frontiers. Applied Sciences. 2025;15(14):8092. doi:10.3390/app15148092.

TIBBIYOT
TA'LIMI & INNOVATSIYALARI

2026. № 10

Muharrir: Sherzod Qurbonov

Mas’ul kotib: Surmaniso Mirzaliyeva

Dizayner: Oloviddin Sobir o‘g‘li

© Materiallar ko‘chirib bosilganda “Tibbiyot ta'limi va innovasiyalari” ilmi elektron jurnali manba sifatida ko‘rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma’sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

Jurnalga istalgan payt quyidagi rekvizitlar orqali obuna bo‘lishingiz mumkin. Obuna bo‘lgach, @iqtisodiyot_77 telegram sahifamizga to‘lov haqidagi ma’lumotni skrinshot yoki foto shaklida jo‘natishingizni so‘raymiz. Shu asosda har oygi jurnal yangi sonini manzilingizga jo‘natamiz.

Mazkur jurnalda maqolalar chop etish uchun quyidagi havolalarga
maqola, reklama, hikoya va boshqa ijodiy materiallar yuborishingiz mumkin.
Materiallar va reklamalar pullik asosda chop etiladi.
El.Pochta: sq143235@gmail.com
Bot: @munis_sm
Tel.: 97 748 70 03





Google scholar

PubMed MEDLINE
NIH U.S. National Library of Medicine National Institutes of Health
Advancing Health Through Knowledge