

Impact Factor: 4.917

ISSN: 2181-0966

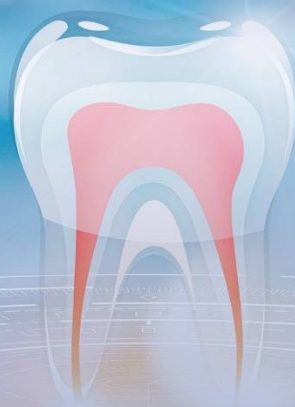
DOI: 10.26739/2181-0966

www.tadqiqot.uz

JOURNAL OF

ORAL MEDICINE AND CRANIOFACIAL RESEARCH

Informing scientific practices around the world through research and development



SAMARKAND
STATE MEDICAL UNIVERSITY

VOLUME 6
ISSUE 3

2025

ЖУРНАЛ СТОМАТОЛОГИИ И КРАНИОФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ТОМ 6, НОМЕР 3

JOURNAL OF ORAL MEDICINE AND CRANIOFACIAL RESEARCH

VOLUME 6, ISSUE 3



Главный редактор:

Ризаев Жасур Алимджанович
доктор медицинских наук, профессор, ректор
Самаркандского государственного медицинского
университета, Узбекистан

Заместитель главного редактора:

Юлдашев Абдуазим Абдувалиевич
доктор медицинских наук, профессор Ташкентского
государственного стоматологического института,
Узбекистан

РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

РЕДАКЦИОННО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ:

Ответственный секретарь: А.С. Кубаев – доктор медицинских наук, профессор

Э.Н. Билалов

доктор медицинских наук, профессор

Д.М. Достмухамедов

доктор медицинских наук, профессор

О.Э. Бекжанова

доктор медицинских наук, профессор

А.М. Хайдаров

доктор медицинских наук, профессор

Л.Э. Хасанова

доктор медицинских наук, профессор

Т.Э. Зойиров

доктор медицинских наук, профессор

Э.А. Ризаев

доктор медицинских наук, профессор

Ж.Ф. Шамсиев

доктор медицинских наук, доцент

С.Х. Юсупалиходжаева

доктор медицинских наук, доцент

Ю.А. Шукурова

доктор медицинских наук, доцент

У.Ю. Мусаев

доктор медицинских наук, доцент

А.И. Хазратов

доктор медицинских наук, доцент

А.А. Ахмедов

доктор медицинских наук, доцент

У.Н. Вахидов

доктор медицинских наук, доцент

Ж.Д. Бузрукзода

кандидат медицинских наук

М.М. Исомов

кандидат медицинских наук, доцент

Д.Ф. Раимкулова

кандидат медицинских наук, доцент

М.К. Юнусходжаева

доктор медицинских наук, доцент

Ф.Ф. Лосев

доктор медицинских наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ

С.П. Рубникович

академик, доктор медицинских наук,
профессор (Беларусь)

Джун-Янг Пэн

доктор медицинских наук, профессор
(Корея)

Дзинити Сакамото

доктор философии, профессор
(Япония)

М.А. Амхадова

доктор медицинских наук, профессор
(РФ)

О.С. Гилёва

академик, доктор медицинских наук,
профессор (РФ)

М.Т. Копбаева

доктор медицинских наук, профессор
(Казахстан)

А.А. Антонова

доктор медицинских наук, профессор
(РФ)

Р.О. Мухамадиев

доктор медицинских наук, профессор

Н.В. Шаковец

доктор медицинских наук, профессор
(Беларусь)

А.И. Грудянов

академик, доктор медицинских наук,
профессор (РФ)

Д.С. Аветиков

доктор медицинских наук, профессор (Украина)

Верстка: Хуршид Мирзахмедов

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz

Tadqiqot LLC the city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz

Phone: (+998-94) 404-0000

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz

ООО Tadqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz

Тел: (+998-94) 404-0000

JOURNAL OF ORAL MEDICINE AND CRANIOFACIAL RESEARCH

№3 (2025) DOI <http://dx.doi.org/10.26739/2181-0966-2025-3>

Chief Editor:

Jasur A. Rizaev

*Doctor of Medical Sciences, Professor,
Rector of the Samarkand State Medical University,
Uzbekistan*

Deputy Chief Editor:

Abduazim A. Yuldashev

*Doctor of Medical Sciences, Professor of the
Tashkent State Dental Institute, Uzbekistan*

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

Executive Secretary: A. S. Kubaev - Doctor of Medical Sciences, Professor

E.N. Bilalov

Doctor of Medical Sciences, Professor

D.M. Dostmukhamedov

Doctor of Medical Sciences, Professor

O.E. Bekjanova

Doctor of Medical Sciences, Professor

A.M. Khaidarov

Doctor of Medical Sciences, Professor

L.E. Khasanova

Doctor of Medical Sciences, Professor

T.E. Zoyirov

Doctor of Medical Sciences, Professor

E.A. Rizaev

Doctor of Medical Sciences, Professor

J.F. Shamsiev

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

S.H. Yusupalikhodjaeva

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

Yu.A. Shukurova

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

U.Yu. Musaev

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

A.I. Khazratov

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

A.A. Akhmedov

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

U.N. Vakhidov

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

J.D. Buzrukzoda

Candidate of Medical Sciences

M.M. Isomov

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

D.F. Raimkulova

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

M.K. Yunuskhodjaeva

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor

F.F. Losev

Doctor of Medical Sciences, Professor,
Honored Scientist of the Russian Federation

S.P. Rubnikov

academician, doctor of medical sciences,
professor (Belarus)

Jun-Yang Peng

Doctor of Medical Sciences, Professor
(Korea)

Jinichi Sakamoto

Doctor of Philosophy, Professor
(Japan)

M.A. Amkhadova

Doctor of Medical Sciences, Professor
(Russian Federation)

O.S. Gileva

academician, doctor of medical sciences,
professor (Russian Federation)

M.T. Kopbaeva

Doctor of Medical Sciences, Professor
(Kazakhstan)

A.A. Antonova

Doctor of Medical Sciences, Professor
(Russian Federation)

R.O. Muxamadiyev

Doctor of Medical Sciences, Professor

N.V. Shakovets

Doctor of Medical Sciences, Professor
(Belarus)

A.I. Grudyanov

academician, doctor of medical sciences,
professor (Russian Federation)

D.S. Avetikov

Doctor of Medical Sciences, Professor (Ukraine)

Page Maker: Khurshid Mirzakhmedov

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz

Tadqiqot LLC The city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz

Phone: (+998-94) 404-0000

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz

ООО Тадqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz

Тел: (+998-94) 404-0000

1. Эгамова Шахноза Бахридиновна КЛИНИЧЕСКОЕ УЛУЧШЕНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МЕТОДОВ ЛЕЧЕНИЯ ВНЧС У БОЛЬНЫХ С ПЕРЕЛОМАМИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ.....	6
2. Валиева Фарангиза Садиловна ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРАПИИ БОЛЕВОГО ДИСФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНДРОМА ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ.....	10
3. Ахмедова Гулчехра Шерматовна БИОАКТИВНЫЕ ЦЕМЕНТЫ МТА-НР И ENDOSEQUENCE ВС В ЗАКРЫТИИ АПИКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА У НЕЗРЕЛЫХ ПОСТОЯННЫХ ЗУБОВ.....	14
4. Abduqodirov Abdusalom Abdulkodirovich, Baxriev Ulugbek Tashtemirovich YUQORI JAG'NING TISH-JAG' ANOMALIYALARI VA DEFORMATSIYALARI ETIOLOGIYASI.....	20
5. Аляви Муфассал Насирхановна, Хайдаров Артур Михайлович СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА У БОЛЬНЫХ ПАРОДОНТИТОМ НА ФОНЕ СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИИ.....	25
6. Лим Татьяна Вячеславовна КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ DENTALCOLOR-ANALYSIS ДЛЯ ОЦЕНКИ ГИГИЕНИЧЕСКОГО СТАТУСА ПОЛОСТИ РТА.....	29
7. Муратбаев Адилбек Байрамович, Каршиев Шавкат Гафурович СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ПРИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПЕРЕЛОМАХ ЧЕЛЮСТЕЙ.....	35
8. Мелькумян Тимур Владимирович, Шералиева Сурайё Шухратовна, Мусахайхова Шахноза Козим кизи, Камиллов Нуриддин Хайдарович, Дадамова Анжела Даниловна, Хабазе Зураб Суликович ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОЙ МИКРОТВЕРДОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ПЛОМБ ПОСЛЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ЗАКРЫТОМ СЛОТЕ.....	39
9. Усмонов Фарход Комильжонович, Абдукадырова Наргизахон Баходир кизи ВЛИЯНИЕ ПСИХОСОЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ЧАСТОТУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА (ВНЧС) У ЖЕНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ.....	45
10. Дусмухамедов Шавкат Махмуджон-угли, Юлдашев Абдуазим Абдувалиевич, Дусмухамедов Махмуджон Закирович СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ КОМПРЕССИОННО-ДИСТРАКЦИОННОГО ОСТЕОГЕНЕЗА ЧЕЛЮСТИ.....	49
11. Дусмухамедов Шавкат Махмуджон-угли, Юлдашев Абдуазим Абдувалиевич, Дусмухамедов Дилшод Махмуджонович ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ТЕЧЕНИЕ ДИСТРАКЦИОННОГО ОСТЕОГЕНЕЗА.....	53
12. Toshmuradova Madina Shokirovna, Elmurodov Alimardon Nuriddinovich TISH PROTEZLARI OSTIDAGI TO'QIMALARDA SUYUQLIKLAR HARAKATINING STEFAN MODEL.....	58
13. Тахирова Камолахон Аббасовна, Азимова Азиза Аббасовна ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ЯЗВЕННО-НЕКРОТИЧЕСКИМ ГИНГИВОСТОМАТИТОМ.....	65
14. Imomova Iroda Bobomurod qizi BOLALARDA OG'IZ BO'SHLIG'I PSEVDOMEMBRANOZ KANDIDOZINI DAVOLASHNI TAKOMILLASHTIRISH.....	70
15. Шомуродов Кахрамон Эркинович, Реймназарова Гулсара Джамаловна, Набиев Равшан Хайдарович СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЦИТОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНОГО ЛЕЧЕНИЯ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ТРАДИЦИОННОМ ПОДХОДЕ И С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОБИОТИКА.....	75
16. Эшкабилов Шукуралли Давлатмуратович, Ихтиёр Талъат Вахобович ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ БАЛЛОННАЯ ДИЛАТАЦИЯ РУБЦОВЫХ СТРИКТУР АНАСТОМОЗА ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ АТРЕЗИИ ПИЩЕВОДА.....	80
17. Шукурова Умида Абдурасуловна, Гаффорова Севара Суннатуллоевна ВЛИЯНИЕ МЕНЕДЖМЕНТА КРОВИ БЕРЕМЕННЫХ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ КАРИЕСА ЗУБОВ.....	83

Toshmuradova Madina Shokirovna
Toshkent davlat Tibbiyot universiteti
Elmurodov Alimardon Nuriddinovich
Ta'limni rivojlantirish respublika
ilmiy-metodik markazi

TISH PROTEZLARI OSTIDAGI TO'QIMALARDA SUYUQLIKLAR HARAKATINING STEFAN MODEL

 <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.18435017>

ANNOTATSIYA

Maqolada protez-to'qima tizimi uchun Stefan tipidagi erkin chegarali ikki fazali reaksiya-diffuziya-konveksiya modeli taklif etiladi. Modelning global klassik yechimi mavjudligi va yagonaligi hamda aprior va katta vaqtlar uchun asimptotik baholari asoslanadi. Interfeys ($s(t)$) harakati Stefan sharti orqali aniqlanadi; soddalashtirilgan front-tracking sonli sxema yordamida protez-to'qima interfeysi dinamikasi va bosim maydonlari (u , v) vizuallashtiriladi. Natijalar periferik ta'minot ($\varphi_2 > 0$) mavjudida interfeysning chekkaga yopishmasligini va bosimlarning barqarorlashishini ko'rsatadi. Klinik talqinda model protez stomatiti xavfini baholash va individual sozlashni rejalashda qo'llanadi.

Kalit so'zlar: protez stomatiti, Stefan modeli, erkin chegara, reaksiya-diffuziya-konveksiya, asimptotik baholar, protez-to'qima interfeysi.

Тошмурадова Мадина Шокировна
Ташкентский государственный
медицинский университет
Эльмуродов Алимардон Нуриддинович
Республиканский научно-методический
центр развития образования

МОДЕЛЬ СТЕФАНА ДЛЯ ДИНАМИКИ ЖИДКОСТЕЙ В ТКАНЯХ ПОД ЗУБНЫМИ ПРОТЕЗАМИ

АННОТАЦИЯ

Представлена модель протез-ткань в виде свободнограничной двухфазной системы типа Стефана с реакцией-диффузией-конвекцией. Доказаны существование и единственность глобального классического решения, получены априорные и асимптотические (для больших времен) оценки. Движение интерфейса $s(t)$ задается условием Стефана; предложена упрощённая front-tracking разностная схема для визуализации динамики интерфейса и полей давления (u , v).

Показано, что при положительном дистальном притоке ($\varphi_2 > 0$) интерфейс не достигает границы области, а давления стабилизируются. Клиническая интерпретация: прогноз распределения давления, снижение риска протезного стоматита и персонализированной настройки.

Ключевые слова: протезный стоматит, модель Стефана, свободная граница, реакция-диффузия-конвекция, асимптотические оценки, интерфейс протез-ткань.

Toshmuradova Madina Shokirovna
Tashkent State medical university
Elmurodov Alimardon Nuriddinovich
Republican Scientific and Methodological
center for the development of education

STEFAN MODEL FOR FLUID DYNAMICS IN TISSUES UNDER DENTAL PROSTHESES

ANNOTATION

We propose a prosthesis–tissue model as a Stefan-type two-phase free-boundary reaction–diffusion–convection system. We prove global classical existence and uniqueness, derive a priori and large-time asymptotic estimates, and define the interface motion $s(t)$ via the Stefan condition. A simplified front-tracking finite-difference scheme visualizes the interface dynamics and pressure fields (U , V). Results show that under positive distal supply ($\varphi_2 > 0$) the interface remains separated from the outer boundary and pressures stabilize. Clinically, the model supports risk assessment of prosthetic stomatitis and guides individualized adjustment.

Keywords: prosthetic stomatitis, Stefan model, free boundary, reaction–diffusion–convection, asymptotic estimates, prosthesis–tissue interface.

Kirish. Zamonaviy stomatologiya va tish protezlari sohasida **matematik modellash** asoslangan yondashuvlar tobora ko‘proq ahamiyat kasb etmoqda. Raqamli texnologiyalar va ilg‘or hisoblash usullarining tez sur‘atlarda rivojlanishi natijasida tish protezlarini loyihalash, ishlab chiqarish va baholash samaradorligi sezilarli darajada oshmoqda [1]. Bunday jarayonlarda matematik modellash vositalari nafaqat dizaynni optimallashtirish, balki uzoq muddatli klinik natijalarni oldindan prognoz qilish imkonini ham beradi [2, 3].

So‘nggi yillarda **ikki fazali erkin chegarali masalalarga asoslangan matematik modellar** tish protezlari sohasida yangi tadqiqot yo‘nalishiga aylandi. Bunday modellar protez materiali va biologik to‘qimalar o‘rtasidagi murakkab fizik-biologik o‘zaro ta‘sirni tavsiflashda **reaksiya-diffuziya tenglamalar** va **erkin chegara shartlarini** qo‘llashga asoslanadi [4–6]. Tish protezlarida uchraydigan asosiy muammolardan biri — protez va suyak to‘qimalari o‘rtasidagi **biomekanik nomuvofiqlik** bo‘lib, bu chaynash kuchlari ta‘sirida stress konsentratsiyasini yuzaga keltiradi va to‘qimalarga zarar yetkazadi [7,8].

Protez–suyak interfeysidagi **mexanik muvozanat, stress taqsimoti, materiallararo farqlar** va **chaynash yuklamalarining dinamikasi** stomatologik modellashda asosiy rol o‘ynaydi [9–13]. Shu bois, protezlarning bardoshlilikini baholash, implantatsiyadan keyingi stress holatlarini tahlil qilish va regeneratsiya jarayonini matematik jihatdan modellashdirish dolzarb vazifalardan biridir.

Tish protezlarining muvaffaqiyatli integratsiyasi esa bir qator **biologik jarayonlarga** – diffuziya, molekulyar transport va reaksiya mexanizmlariga bevosita bog‘liq [14,15]. Bu jarayonlar oqsillar, hujayralar, trofik faktorlar va angiogenez kabi komponentlarni o‘z ichiga oladi. Aynan shunday jarayonlarni chuqur tushunish va modellash uchun **diffuziya–reaksiya tenglamalariga asoslangan matematik modellar** qo‘llanilmoqda [16].

Protez materiallarini tanlash ham murakkab optimallashtirish muammasidir. Matematik modellar yordamida turli variantlar baholanadi, stress taqsimoti va bardoshlilik prognoz qilinadi [17,18].

Erkin chegarali masalalar matematik fizikaning muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ular ikki yoki undan ortiq fazalar orasidagi interfeysda sodir bo‘ladigan jarayonlarni o‘rganishga imkon beradi [6, 19]. Tish protezlari kontekstida bunday interfeyslar protez materiali va tirik to‘qimalar orasidagi chegarani ifodalaydi. Bu yondashuvlar to‘qima regeneratsiyasi, hujayra o‘sishi va biomaterial integratsiyasi kabi biologik jarayonlarni modellashda keng qo‘llaniladi [20–23].

Tish protezlari sohasidagi muammolarni hal qilish **faqat stomatologik bilimlar bilan cheklanmaydi**. Chunki protez va to‘qima o‘rtasida bosim, suyuqlik oqimi, diffuziya va molekulyar almashinuv, hujayralarning biologik reaksiyalari bir vaqtning o‘zida sodir bo‘ladi. Bu murakkab jarayonlarni to‘liq tushunish uchun **matematik modellash** zarur. Bunda

qonuniyatlar **xususiy hosilali nochiziqli differensial tenglamalar sistemasi** orqali ifodalanadi. Matematiklar ushbu tenglamalar yordamida bosim, suyuqlik harakati va to‘qimalardagi o‘zgarishlarni hisoblab beradi.

Shu sababli, **matematiklar va stomatologlarning birgalikdagi hamkorligi** nihoyatda muhim. Stomatolog klinik muammoni qo‘yadi (masalan, protez ostida bosim ko‘payganda stomatit rivojlanishi), matematik esa ushbu jarayonni tenglamalar orqali model shakliga keltiradi. So‘ngra ular birgalikda model natijalarini tahlil qiladi va ularni klinik amaliyotga tatbiq etadi.

Klinik amaliyotda matematik modellar sezilarli natijalar bermoqda: ular nafaqat protez xizmat muddatini uzaytiradi, balki komplikatsiyalar chastotasini kamaytirish, ishlab chiqarish jarayonini tezlashtirish va bemor uchun optimal yakuniy natijani ta‘minlash imkonini beradi.

Shu munosabat bilan, ushbu tadqiqot zamonaviy stomatologiyada fundamental bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, birinchi marta **Stefan tipidagi ikki fazali erkin chegarali model** stomatologik muhitga tatbiq etilmoqda. Tadqiqotda masalaning matematik formulasi asosida global klassik yechimning mavjudligi va yagonaligi qat‘iy isbotlanadi, erkin chegaraning muntazamligi o‘rganiladi hamda protez ostidagi interfeys harakatini vizuallashtiruvchi soddalashtirilgan sonli model taklif etiladi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

ilk bor Stefan tipidagi ikki fazali erkin chegarali masala stomatologik muhitga tatbiq qilindi;

protez va biologik to‘qimalar o‘rtasidagi interfeys dinamikasini tavsiflovchi matematik formulalar ishlab chiqildi; global klassik yechimning mavjudligi va yagonaligi matematik jihatdan qat‘iy isbotlandi;

diffuziya, reaksiya va konveksiya jarayonlari birgalikda hisobga olingan holda matematik model kengaytirildi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati:

klinik stomatologiyada protez ostidagi bosim taqsimotini oldindan prognoz qilish imkonini beradi;

protez stomatiti va boshqa asoratlarning xavfini matematik modellash orqali kamaytirish mumkin;

protez dizayni va materiallarini tanlash jarayonida optimal variantni aniqlashda yordam beradi;

sonli simulyatsiya natijalari CAD/CAM texnologiyalari bilan integratsiya qilinib, individual protezlarni loyihalashni takomillashtiradi.

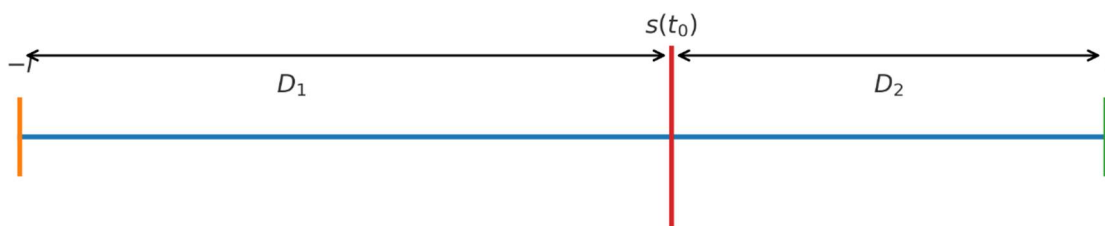
2. Matematik modelning ishlab chiqilishi

Quyidagi ikki fazali Stefan tipidagi erkin chegarali masalani ko‘rib chiqamiz.

Erkin chegarani ifodalovchi $s(t)$ funksiyani (**1-rasm**),

birinchi fazada (D_1 sohasida) $u(t, x)$ funksiyani, ikkinchi

fazada (D_2 sohasida) $v(t, x)$ funksiyani.



1-rasm. Model geometriyasi: soha $[-l, l]$ va erkin chegara $s(t)$. Chap faza — $D_1 = \{-l < x < s(t)\}$, o'ng faza — $D_2 = \{s(t) < x < l\}$.

Har bir faza uchun parabolik reaksiya-diffuziya-konveksiya tenglamalari quyidagicha:

$$k_1(u)u_t = d_1(u)u_{xx} + c_1u_x + u(a_1 - b_1u), \quad (x, t) \in D_1 \quad (1)$$

$$k_2(v)v_t = d_2(v)v_{xx} + c_2v_x + v(a_2 - b_2v), \quad (x, t) \in D_2 \quad (2)$$

boshlang'ich va chegaraviy shartlar

$$u(0, x) = u_0(x), \quad -l \leq x \leq 0, \quad v(0, x) = v_0(x), \quad 0 \leq x \leq l. \quad (3)$$

$$u(t, -l) = \varphi_1(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (4)$$

$$u(t, s(t)) = v(t, s(t)) = 0, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (5)$$

$$v(t, l) = \varphi_2(t), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (6)$$

$$s_t(t) = -\alpha u_x(t, s(t)) + \beta v_x(t, s(t)), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (7)$$

bu yerda (7) — Stefan sharti (interfeys tezligi gradientlar farqi orqali).

Parametrlar va funksiyalarning xossalari

- I. Parametrlar: $\alpha, \beta, a_i, b_i, c_i$ ($i = 1, 2$) - musbat o'zgarmaslar. $d_i(\xi) = \begin{cases} u(t, x), & \text{agar } (x, t) \in D_1, \\ v(t, x), & \text{agar } (x, t) \in D_2. \end{cases}$
- II. $d_i(\xi)$ - chegaralangan, $d_i(\xi) \geq d_0 > 0$ va $d_i(\xi) \in C^{1+\alpha}$ (Holder davomiylikda).
- III. $u_0(x) \in C^{2+\alpha}[-l, 0], u_0(x) \geq 0, u_0(0) = 0. v_0(x) \in C^{2+\alpha}[0, l], v_0(x) \geq 0, v_0(0) = 0.$

Bu model tish protezlari va biologik to'qimalar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni tavsiflaydi $u(t, x)$ - protez ostidagi hamda $v(t, x)$ - to'qimadagi bosimlar, $s(t)$ - protez va to'qima orasidagi interfeysning harakati.

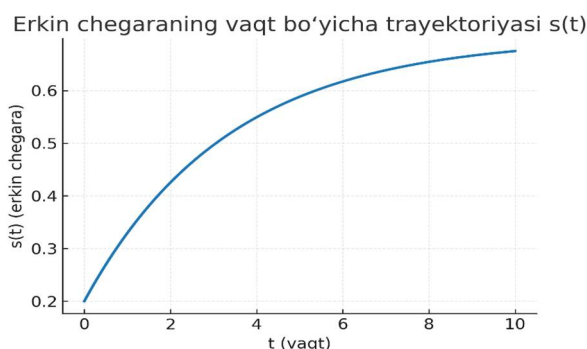
(1)-(2) tenglamalar - massa va energiyaning saqlanish qonunlari asosida (6) tenglama - erkin chegaraning harakat qonuni (2-rasm).

Rasm 2. Erkin chegaraning vaqt bo'yicha trayektoriyasi $s(t)$, $t \in [0, T]$.

Modelning yangiligi shundaki, u diffuziya va reaksiya jarayonlari bilan birga, konveksiya (C_1u_x hadlari) va nodiffuzion effektlar ($k_i(\xi), d_i(\xi)$)ni ham hisobga oladi.

Quyidagi jadvalni “**Parametrlar, birliklar va identifikatsiya**” bo'limiga qo'yib, kerakli qiymatlarni (yoki diapazonlarni) tajriba/simulyatsiya ma'lumotlarini bilan to'ldiramiz (1-jadval).

1-jadval. Model parametrlari, fizik birliklar va stomatologik talqin



Belgilanishi	Tavsif (modeldagi roli)	Birlik (SI)	Tipik diapazon	Identifikatsiya / izoh (stomatologik talqin)
l	Geometriyaning yarim-uzunligi (D_2 sohani chegarasi)	mm	8–20	Klinik o'lchov (protez osti segmenti kengligi)
$s(t)$	Erkin chegara (protez–to'qima interfeysi koordinatasi)	mm	$(-l, l)$	Stefan sharti bilan hisoblanadi, moslashuv/chok zonasining siljishi

$u(t, x)$	Protez ostidagi bosim/suyuqlik potentsiali	kPa yoki o'lchamsiz	0.5–10 kPa	Tekshiruvga qarab bosim sifatida kalibrlash, protez osti bosimining ko'payishi stomatit xavfini oshiradi
$v(t, x)$	To'qima ichidagi bosim/suyuqlik potentsiali	kPa yoki o'lchamsiz	0.2–6 kPa	Mikrosirkulyatsiya, to'qima namligi va perfuziya bilan bog'liq
$k_1(u)$	"Sig'im/siqiluvchanlik" (1-faza)	Pa ⁻¹ yoki o'lchamsiz	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁴	u_t ni massaviy/jismoniy ta'sirga bog'laydi; kalibrlanadi
$k_2(v)$	"Sig'im/siqiluvchanlik" (2-faza)	Pa ⁻¹ yoki o'lchamsiz	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁴	To'qima elastogidravlik xossalriga bog'liq
$d_1(u)$	Diffuziya/oqkazuvchanlik (1-faza)	mm ² /s	10 ⁻³ –10 ⁻¹	Material porozligi/kanallanishiga bog'liq
$d_2(v)$	Diffuziya/oqkazuvchanlik (2-faza)	mm ² /s	10 ⁻³ –10 ⁻¹	To'qima porozligi va suyuqlik o'tuvchanligi
c_1	Konveksiya tezligi (1-faza)	mm/s	10 ⁻³ –10 ⁻¹	Lokal oqim yo'nalishi; upwind talab qiladi
c_2	Konveksiya tezligi (2-faza)	mm/s	10 ⁻³ –10 ⁻¹	Mikrosirkulyatsiya oqim komponenti
a_1	Reaksiya (o'sish/so'nish) parametri (1-faza)	1/s	10 ⁻⁴ –10 ⁻²	Agar uuu o'lchamsiz: logistika $u(a_1 - b_1 u)$
a_2	Reaksiya parametri (2-faza)	1/s	10 ⁻⁴ –10 ⁻²	To'qima javobi (angiogenez/trofika)
b_1	To'yinganlik koeff. (1-faza)	1/s (u o'lchamsiz bo'lsa)	10 ⁻⁴ –10 ⁻²	O'sishning o'z-cheklanishi
b_2	To'yinganlik koeff. (2-faza)	1/s (v o'lchamsiz bo'lsa)	10 ⁻⁴ –10 ⁻²	Hujayra/suyuqlik almashinuvida cheklanish
α	Stefan koeff. (1-fazadan ulash)	$\frac{\text{mm}^2}{\text{s} \cdot \text{unit}(u)}$	kalibrlanadi	$\&$ $-\alpha u_x + \dots$; interfeys tezligini u_x ga bog'laydi
β	Stefan koeff. (2-fazadan ulash)	$\frac{\text{mm}^2}{\text{s} \cdot \text{unit}(v)}$	kalibrlanadi	Interfeys tezligini v_x ga bog'laydi
$\varphi_1(t)$	Chap chegara qiymati (x=-1)	u bilan bir xil	—	Eksperimental/klinik chegara sharti
$\varphi_2(t)$	O'ng chegara qiymati (x=1)	v bilan bir xil	—	Perfuzion ta'minot; $\varphi_2(t) \geq \delta > 0$ bo'lsa $s(t) < l$ kafolatlanadi
$u_0(x)$	Dastlabki shart (1-faza)	u bilan bir xil	—	Dastlabki bosim/potensial profili
T	Modellash oraliq vaqti	s	10 ² –10 ⁵	Klinik vaqt shkalasi (soat–kun)
d_0	Diffuziya pastki chegarasi	mm ² /s	> 0	Nazariy talablarga ko'ra $d_i \geq d_0$

3. Yechimning mavjudlik va yagonalik

Ushbu bo'limda masalaning matematik tomoni — ya'ni yechimning mavjudligi va yagonaligi masalasi ko'rib chiqiladi. Matematik modellashtirishda bu ikki xossa juda muhim.

a) mavjudlik shuni bildiradiki, qurilgan model uchun haqiqiy yechim mavjud, ya'ni protez–to'qima tizimidagi fizik-biologik jarayonlarni ifodalovchi matematik tenglamalar befoydada emas, balki ular orqali real jarayonni tasvirlash mumkin.

b) yagonalik esa shu yechim yagona ekanligini kafolatlaydi. Boshqacha aytganda, model bir xil klinik va fizik sharoitlarda faqat bitta natija beradi, bu esa stomatologik amaliyotda prognozlarning ishonchligini ta'minlaydi.

Matematik nuqtayi nazardan, mavjudlik va yagonalik noxizizliq parabolik turdagi differensial tenglamalar sistemasi uchun klassik usullar — Schauder aprior baholari, maksimal prinsip va kompaktlik lemmasi yordamida isbotlanadi. Ushbu

qat'iy isbotlar [23] ishda keltirilgani bois, bu yerda ularning texnik tafsilotlariga to'xtalmaymiz, ammo ularning ahamiyatini alohida ta'kidlab o'tamiz.

Stomatologik nuqtayi nazardan, mavjudlik va yagonalik natijalari quyidagi jihatlar uchun bevosita muhim:

- protez ostidagi bosim taqsimoti ishonchli hisoblanadi – model natijasi klinik kuzatuvlarga mos keladi;

- interfeysning harakati (protez va to'qima orasidagi chegaraning siljishi) barqaror va takrorlanuvchi tarzda aniqlanadi. Bu shuni anglatadiki, turli stomatologlar bir xil klinik ma'lumotni modelga kiritganda, bir xil prognozga ega bo'lishadi;

- klinik qarorlar qabul qilishda modelning barqarorligi ortadi, chunki matematik nuqtayi nazardan “noaniq” yoki “ko'p yechimli” natijalar klinik amaliyotda xavfli bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, yechimning mavjudlik va yagonaligi faqat matematik jihatdan emas, balki stomatologik qo'llanilish nuqtayi nazaridan ham fundamental ahamiyatga ega. Ularining isboti matematik nazariya yordamida qat'iy ko'rsatib berilgani, modelni klinik amaliyotga tatbiq etishda yuqori darajada ishonchlilikni ta'minlaydi.

4. Asimptotik baholar

Ushbu bo'limda erkin chegarali ikki fazali masala uchun etarlicha katta vaqt $t \rightarrow \infty$ da yechimlarning asimptotik baholari ko'rib chiqiladi. Bunday baholar jarayonning uzoq muddatli barqarorligini o'rganish va stomatologik qo'llanishlarda protez-to'qima interfeysining kechki dinamikasini tushunishda asosiy ahamiyatga ega.

Quyida yoyilish-yo'qolish dichotomiyasi va o'tish holati (faza portreti) keltiriladi, bu g'oyalar Friedman va Mimura ko'chuvchi-chegara (free boundary) adabiyotidagi [18, 22] klassik metodlarga tayanadi, bizning ikki fazali Stefan shartiga moslashtiriladi.

Teorema 1. Berilgan boshlang'ich va chetki shartlar ostida erkin chegarali masalaning yechimi $(u(t, x), v(t, x), s(t))$ uchun, $t \rightarrow \infty$ da, quyidagi holatlardan biri sodir bo'ladi:

Yo'qolish (vanishing): $\lim_{t \rightarrow \infty} \max_{x \in D_1} |u(t, x)| = 0$,

$\lim_{t \rightarrow \infty} \max_{x \in D_1} |v(t, x)| = 0$ va $s(t) \leq s^* < l$ chegarada to'xtaydi.

Yoyilish (spreading): $\lim_{t \rightarrow \infty} s(t) = l$, $u(t, x) \rightarrow u_1^*$,

$v(t, x) \rightarrow v_1^*$ mos fazalar uchun ijobiy statsionar yechimlar.

O'tish (transition): $s(t) \rightarrow l$, $u(t, x)$ va $v(t, x)$ nol profildan statsionar ijobiy profilga “kritik” o'tish traektoriyasi bo'ylab yaqinlashadi.

Yechimning qaysi holatga tushishi model parametrlari va boshlang'ich/chetki ma'lumotlarga bog'liq.

Isbot. Konveksiyani yo'qotish uchun $U = e^{\gamma_1 x} u$, $\gamma_1 := \frac{c_1}{2D_1}$, $D_1 := \frac{d_1(0)}{k_1(0)}$ transformatsiyalarini kiritamiz.

$$U_t = D_1 U_{xx} + C_1 U_x + A_1 U$$

bu yerda $A_1 = \frac{a_1}{k_1(0)}$, $C_1 = \frac{c_1}{k_1(0)}$.

Nol atrofidagi chiziqlashtirish uchun birlamchi o'z qiymat

$$\lambda_1^{(1)}(L_1) = A_1 - D_1 \left(\frac{\pi}{L_1} \right)^2 - \frac{C_1^2}{4D_1}, \quad L_1 := s(t) + l,$$

va

$$\lambda_1^{(2)}(L_2) = A_2 - D_2 \left(\frac{\pi}{L_2} \right)^2 - \frac{C_2^2}{4D_2}, \quad L_2 := l - s(t).$$

Kritik uzunliklar:

$$L_1^{cr} = \sqrt{\frac{D_1}{A_1 - \frac{C_1^2}{4D_1}}}, \quad L_2^{cr} = \sqrt{\frac{D_2}{A_2 - \frac{C_2^2}{4D_2}}},$$

bu yerda maxrajlar musbat bo'lsa. U holda

$\lambda_1^{(i)} < 0 \Leftrightarrow$ domen “kichik” va nol yechim lokal barqaror, faza segmenti “kichik” bo'lsa, diffuziya ustun keladi (yallig'lanish/bosim so'nadi);

$\lambda_1^{(i)} > 0 \Leftrightarrow$ domen “katta” bo'lsa, u holda proliferatsiya/reaksiya kuchli bo'lib barqaror ijobiy profil paydo bo'ladi.

V uchun ham xuddi shunday bo'ladi.

Faraz qilaylik $L_1^\infty < L_1^{cr}$ va $L_2^\infty < L_2^{cr}$ uzunlik bo'yicha uzluksiz bo'lganligi uchun, yetarlicha katta t larda

$$\lambda_1^{(1)}(L_1(t)) \leq -\delta, \quad \lambda_1^{(2)}(L_2(t)) \leq -\delta$$

bo'ladigan $\delta > 0$ topiladi (ya'ni “bir oz” subkritiklik saqlanadi).

Endi chiziqlashtirilgan issiqlik operatori uchun yarimguruh bahosi:

$$\|u(\cdot, t)\|_{L^\infty(-l, s(t))} \leq C e^{-\delta t} \|u(\cdot, 0)\|_\infty,$$

$$\|v(\cdot, t)\|_{L^\infty(s(t), l)} \leq C e^{-\delta t} \|v(\cdot, 0)\|_\infty.$$

To'liq (nochiziqli) masalada logistik $-b_1 u^2$ hadlar so'ndirish xarakterida, shuning uchun taqqoslash prinsipi bilan yuqoridagi eksponentsial so'nish saqlanadi:

$$\max_{x \in D_1} |u(t, x)| + \max_{x \in D_2} |v(t, x)| \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} 0.$$

Stefan sharti bo'yicha

$$s(t) = -\alpha u_x(s(t), t) + \beta v_x(s(t), t) \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} 0,$$

va $s(t)$ chegaralangan o'suvchi bo'lgani uchun $s(t) \rightarrow s^* < l$. Demak, **yo'qolish** yuz beradi.

Uzoq muddatda protez osti/to'qima bosimi so'nadi, interfeys harakati to'xtaydi — yallig'lanish xavfi pasayadi.

Endi $L_1^\infty \geq L_1^{cr}$ yoki $L_2^\infty \geq L_2^{cr}$ bo'lsin. (1-faza uchun.)

(a) Nol yechimning beqarorligi. Agar $L_1(t)$ yetarlicha katta bo'lib $\lambda_1^{(1)}(L_1(t)) > 0$ bo'lsa, chiziqlashtirilgan tizimda ijobiy bosh o'z funksiyaga proeksiya eksponentsial o'sadi. Demak nol yechim **chiziqli barqaror emas**. Nochiziqlik $-b_1 u^2$ o'sishni cheklab, yechimni ijobiy **statsionar** profil tomon itaradi.

(b) Statsionar yechimning mavjudligi. Fiksirlangan sss uchun Dirixle BVP:

$$-d_1(U)U'' - c_1 U' = U(a_1 - b_1 U), \quad U(-l) = 0,$$

$$U(s) = 0,$$

$L_1 > s - l$ **kritikdan katta** bo'lsa, mavjud. Buni **past-yuqori** yechimlar bilan quramiz:

- quyi yechim: $\varepsilon\phi_1(x)$, bu yerda $\phi_1 > 0$ — bosh o'z funksiyasi; kichik $\varepsilon > 0$ uchun nolinearlik yuqoridan chiziqlanadi.
- Yuqori yechim: doimiy $U \equiv a_1 / b_1$.

Monoton iteratsiya bilan ijobiy U_s olinadi. Ikkinchi faza uchun V_s xuddi shunday. Endi **Stefan muvozanati**:

$$F(s) := -\alpha U_s(s) + \beta V_s(s) = 0.$$

Klassik hisoblar F ning uzluksiz va qat'iy monotoni ekanini ko'rsatadi; demak yagona ildiz S_∞ mavjud. Shunday qilib, ijobiy statsionar uchlik $(u_\infty, v_\infty, s_\infty)$ mavjud.

(c) Dinamika: yoyilish yoki o'tish. Nol yechim beqaror bo'lgani uchun ijobiy boshlang'ich ma'lumotlar (yoki yetarlicha ijobiy chekka ta'sir) trayektoriyani ijobiy statsionar yechim atrofiga olib boradi. Interfeysning monoton o'sishi (Lemma 2) bilan $s(t) \rightarrow l$ yoki $s(t) \rightarrow s_\infty \approx l$ — parametrlarga bog'liq “yoyilish” yoki “o'tish” ssenariylari yuz beradi.

Segment “katta” bo'lsa, protez-to'qima interfeysi faol remodellyatsiya rejimiga kiradi: ijobiy barqaror bosim/oqim profili saqlanadi va interfeys chekka tomon siljiydi (moslashuv “yoyiladi”).

Aniq “kritik” uzunlikda $\lambda_1^{(i)} = 0$. Bunda nol yechim **markaziy** holga yaqin bo'ladi: kichik ijobiy kiritmalar yechimni ijobiy profilga “sekin” olib o'tadi — bu **o'tish** (transition) deb talqin qilinadi. Parametrlarni (boshlang'ich intensivlik, chekka yuklama) bir parametrlar σ bilan o'zgartirib, **kritik** Σ_* orqali klassik “vanishing–spreading–transition” trixotomiyasi hosil qilinadi (taqqoslash prinsipi va yopiq–ochiq to'plam argumenti).

Asimptotik baholar klinik jarayonlarni tushinishda quyidagi jihatlar uchun muhimdir:

Protez ostidagi bosimning uzoq muddatli taqsimoti ($u(t, x)$) — vaqt o'tishi bilan protez ostida qanday barqaror bosim maydoni shakllanishini ko'rsatadi. Bu stomatolog uchun protezning xizmat muddatini baholashda muhim ko'rsatkichdir.

To'qima ichidagi bosim va suyuqliklar harakati ($v(t, x)$) — uzoq muddatda to'qima moslashuvi va qon-mikrosirkulyatsiya holatini matematik model asosida prognoz qilish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. João Paulo Mendes Tribst, Gabriel Kalil Rocha Pereira, Cornelis Johannes Kleverlaan. Advancements in Dental Care: The Evolving Landscape of Prosthetic Dentistry. J Clin Med. 2024 Feb 21;13(5):1225. doi: 10.3390/jcm13051225
2. Tashpulatova K.M. Application of mathematical modeling in prosthetics on implants. World Bulletin of Public Health (WBPH), Volume-43, February 2025. 91-97.
3. Tashpulatova K.M. Safarov M.T. Ruzimbetov Kh.B. Sultanova Sh.H. Experience in the use of mathematical modeling to predict the long-term durability of prosthetics on dental implants. (application of mathematical modeling in prosthetics on implants.). Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods. Volume 2, Issue 3, March 2024. 14-23.
4. Elmurodov A.N. and Rasulov M.S., On a Uniqueness of Solution for a Reaction-Diffusion Type System with a Free Boundary. Lobachevskii Journal of Mathematics. №43 (8), 2022. 2099-2106.
5. Friedman A. Free boundary problems in biology. Phil. Trans. R. Soc. A 373: 20140368. 2015. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0368>
6. Friedman A. Free boundary problems in science and technology. Notices of the: AMS. V. 47, NUMBER 8. 854-861.
7. Liang R., Guo W., Qiao X., Wen H., Yu M, Tang W., Liu L., Wei Y., Tian W.. Biomechanical analysis and comparison of 12 dental implant systems using 3D finite element study. Comput methods biomech biomed engin. 18(12):1340-8. 2015. doi:10.1080/10255842.2014.903930

Interfeysning barqarorlashuvi ($s(t)$) — protez va tirik to'qima orasidagi chegaraning o'zini tutishi klinik jihatdan shuni anglatadiki, vaqt o'tishi bilan protez to'qimaga qanday “moslashadi” va yallig'lanish yoki protez stomatiti xavfi kamaydimi yoki yo'qligini oldindan bilish mumkin.

Shu tariqa, asimptotik baholar stomatologik amaliyotda **uzoq muddatli barqarorlikni oldindan ko'rish**, protez materiallarini tanlash va klinik xavflarni kamaytirishda hal qiluvchi o'rin tutadi.

Shunday qilib, asimptotik baholar nafaqat **matematik jihatdan modelning to'liqligi va barqarorligini** isbotlaydi, balki **stomatologik jihatdan protezlarning xizmat muddatini, to'qima moslashuvini va asorat xavflarini oldindan baholash** imkoniyatini beradi.

Xulosa. Ushbu ishda tish protezlari ostidagi to'qimalarda suyuqliklar harakatini tavsiflovchi Stefan tipidagi ikki fazali erkin chegarali model matematik va stomatologik yondashuv uyg'unligida ishlab chiqildi. Model reaksiya–diffuziya–konveksiya jarayonlarini hamda protez-to'qima interfeysining harakat qonunini hisobga oladi. Aprior baholar, yechimning mavjudligi va yagonaligi hamda etarlicha katta vaqtlardagi asimptotik barqarorlik dalillari berildi. Natijalar protez ostida bosim/suyuqlik taqsimotini oldindan baholash va stomatit xavfini kamaytiruvchi dizayn qarorlarini asoslashga xizmat qiladi.

Amaliy tavsiyalar (stomatologiya uchun):

o'ng chegara sharti $\varphi_2(t) > 0$ turishi interfeysning chekkaga “qulab tushmasligini” kafolatlaydi, klinikada bu mikrotsirkulyatsiya va namlikni qo'llab-quvvatlash zarurligini bildiradi;

protezning tayanch yuzalarini qayta konturlash (relyefni yumshatish) va astar (lining) materiallarini qo'llash orqali **lokal pik bosimlarni** pasaytirish;

elastik-modul va nam muhitda barqarorligi bo'yicha materiallarni **model sezgirlik tahlili** natijalariga tayangan holda tanlang;

CAD/CAM asosida shaxsiylashtirilgan dizaynni qo'llash va sinov moslamasida **bosim xaritalarini** tekshirish (modeldagi u , v ga mos ravishda);

dastlabki moslashuv davrida **qisqa interval** (2–4 hafta) bilan klinik nazorat o'tkazish, keyinroq intervallarni uzaytirish (asimptotik barqarorlikka mos).

8. Grenoble D. E., Knoell A. C., Unified approach to the biomechanics of dental implantology. JPL Quarterly Technical Review. V. 2, Number 4. 1973.
9. Sinan Muftu. Biomechanical modeling of the mandible and teeth. The NIH/NIGMS Center for Integrative Biomedical Computing. <https://www.sci.utah.edu/collaborations/97-muftu.html>
10. Shaukat A., Zehra N., Kaleem M. and Fareed A. M.. Implant biomechanics relating to the dental implant and prosthesis design: In-vitro strain gauge analysis and finite element analysis. AIP Advances 14, 045134 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0199243>
11. Alemayehu Dawit Bogale, Todoh Masahiro and Huang Song-Jeng, Hybrid Biomechanical Design of Dental Implants: Integrating Solid and Gyroid Triply Periodic Minimal Surface Lattice Architectures for Optimized Stress Distribution. J. Funct. Biomater. 2025, 16(2), 54; <https://doi.org/10.3390/jfb16020054>
12. Prados-Privado M., Bea J.A. and Prados-Frutos J.C. Presentation of a Mathematical Model to Predict Long-term Behaviour of Implants and their Prosthesis based on Probabilistic Fatigue. Journal of Dentistry & Oral Disorders. 2017; 3(1): 1050.
13. Ryll A., Bucher J., Bonin A., Bongard S., Gonçalves E., Saez-Rodriguez J., Niklas J. and Klamt S.. A model integration approach linking signalling and gene-regulatory logic with kinetic metabolic models. PMID: 25063553. DOI: 10.1016/j.biosystems.2014.07.002
14. Riznichenko G. Y.. Mathematical models in Biophysics. <https://www.biophysics.org/Portals/0/BPSAssets/Articles/galina.pdf>
15. Tadeusz K., Katarzyna D. L. Subdiffusive Reaction Front in the Enamel Caries Process. Diffusion Fundamentals 2. (2005) pp.1 – 2.
16. Lo Bianco S.G., La Manna D. A., Velichkov B. Free boundary cluster with robin condition on the transmission interface. 1991.
17. Avner Friedman, Bei Hu, Juan José L. Velazques, A Stefan problem for a protocell model with symmetry-breaking bifurcations of analytic solutions. Interfaces Free Bound. 3 (2001), no. 2, pp. 143–199. DOI 10.4171/IFB/37
18. Mimura M., A stefan-like problem in biology. 数理解析研究所講究録. 989 卷 1997 年 31-41.
19. Verigin N.N. Filtratsion jarayonlarning ikki fazali modellari. Neft-gaz geologiyasi. - 1978. - №5. - B. 67-73.
20. Wang L. Limitations of quasi-static approaches. Arch Oral Biol. 2020. Vol. 78. P. 112-120.
21. Asrakulova D. and Elmurodov A.N., A reaction-diffusion-advection competition model with a free boundary. Uzbek Mathematical Journal. №65(3), 2021. 25-37.
22. Chen X. F. and Friedman A., A free boundary problem arising in a model of wound healing, SIAM J. Math. Anal., №32, 2000, 778-800.
23. A.N. Elmurodov, Two-phase problem with a free boundary for systems of parabolic equations with a nonlinear term of convection. Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki, №36, (3) 2021. 110-122.

ЖУРНАЛ СТОМАТОЛОГИИ И КРАНИОФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

JOURNAL OF ORAL MEDICINE AND CRANIOFACIAL RESEARCH

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz

Tadqiqot LLC The city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz
Phone: (+998-94) 404-0000

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz

ООО Тадqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.

Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; Email: info@tadqiqot.uz
Тел: (+998-94) 404-0000