

ISSN: 3030-3877

AJCD
2024

<https://tadqiqot.uz/index.php/spjacd>



Annals of clinical disciplines



VOLUME 3, ISSUE 2

2026

ISSN 3030-3877

DOI Journal 10.26739/3030-3877

ANNALS OF CLINICAL DISCIPLINE

3 ЖИЛД, 2 СОН

АННАЛЫ КЛИНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

ТОМ 3, НОМЕР 2

КЛИНИК ФАНЛАР ЙИЛНОМАСИ

VOLUME 3, ISSUE 2



ТОШКЕНТ-2026

BOSH MUHARRIR: | ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: | CHIEF EDITOR:

Sh. J. Teshayev

“Klinik fanlar yilnomasi” jurnali bosh muharriri, Buxoro davlat tibbiyot instituti rektori, t.f.d., professor

BOSH MUHARRIR O'RINBOSARI: | ЗАМЕСТИТЕЛЬ
ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: | DEPUTY CHIEF EDITOR:

D. A. Xasanova

“Klinik fanlar yilnomasi” jurnali bosh muharrir o'rinbosari, Buxoro davlat tibbiyot instituti anatomiya va klinik anatomiya kafedrası professori, DSc

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- **U.K. Abdullayeva** - “Klinik fanlar yilnomasi” jurnali mas'ul kotibi, Buxoro davlat tibbiyot instituti fakultet va hospital terapiya, nefrologiya va gemodializ kafedrası dotsenti, DSc
- **M.J. Sanoyeva** - Buxoro davlat tibbiyot instituti nevrologiya kafedrası dotsenti, DSc
- **A.G. Gadayev** - Toshkent tibbiyot akademiyasi 3-son ichki kasalliklar kafedrası professori, t.f.d.
- **A.R. Obloqulov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti, yuqumli kasalliklar va bolalar yuqumli kasalliklari kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **D.A. Nabiyeva** - Toshkent tibbiyot akademiyasi, 1-son fakultet va hospital terapiya, kasb kasalliklari kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **Sh.T. O'roqov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti xirurgik kasalliklar kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **M.M. Karimov** - Respublika ixtisoslashtirilgan terapiya va reabilitatsiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazi “Gastroenterologiya” ilmiy laboratoriyasi boshlig'i, t.f.d., professor
- **N.U. Narzullayev** - Buxoro davlat tibbiyot instituti otorinilaringologiya kafedrası professori, DSc
- **G.N. Sobirova** - Toshkent tibbiyot akademiyasi reabilitatsiya va jismoniy tarbiya kafedrası professori, t.f.d.
- **F.S. Raupov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti bolalar xirurgik kasalliklari kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **Sh.B. Axrorova** - Buxoro davlat tibbiyot instituti, nevrologiya kafedrası dotsenti, DSc
- **V.R. Akramov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti travmatologiya va neyroxirurgiya kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **I.K. Sadulloyeva** - Buxoro davlat tibbiyot instituti bolalar kasalliklari propedevtikasi va bolalar nevrologiyasi kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **M.K. Temirova** - Toshkent davlat tibbiyot universiteti, Nevrologiya va bolalar nevrologiyasi, tibbiy genetika kafedrası assistenti PhD

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

- **G.J. Jarilkasimova** - Buxoro davlat tibbiyot instituti oilaviy shifokorlarni qayta tayyorlash kafedrası professori, DSc
- **U.S. Mamedov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti onkologiya kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **A.A. Saidov** - Buxoro davlat tibbiyot instituti ortopedik stomatologiya va ortodontiya kafedrası professori DSc
- **N.N. Karimova** - Buxoro davlat tibbiyot instituti 3-son akusherlik va ginekologiya kafedrası mudiri, DSc, dotsent
- **U.K. Qayumov** - tibbiyot xodimlarini kasbiy malakasini oshirish markazi ichki kasalliklar kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **M.E. Raximova** - Toshkent tibbiyot akademiyasi, 3-son ichki kasalliklar kafedrası dotsenti, t.f.d.
- **R.I. To'raqulov** - Toshkent tibbiyot akademiyasi, 3-son ichki kasalliklar kafedrası professori, t.f.d.
- **Ch.S. Pavlov** - I.M. Sechenov nomidagi birinchi Moskva davlat tibbiyot universiteti terapiya kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **L.B. Novikova** - Rossiya Federatsiyasi Sog'liqni saqlash vazirligining “Janubiy Ural davlat tibbiyot universiteti” federal davlat byudjet oliy ta'lim muassasasi dermatovenerologiya kafedrası professori, t.f.d.
- **O.I. Letyayeva** - Rossiya Federatsiyasi Sog'liqni saqlash vazirligining “Janubiy Ural davlat tibbiyot universiteti” federal davlat byudjet oliy ta'lim muassasasi dermatovenerologiya kafedrası professori, t.f.d.
- **I.V. Reverchuk** - I.Kant nomidagi Boltiq federal universiteti psixonevrologiya va psixosomatika kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **Edip Gonullu** - Izmir Bakirchay universiteti anesteziya va reanimatsiya kafedrası dotsenti, t.f.d.
- **Eva Lietto** - Italiya Campania universiteti “Luigi Vanvitelli”ning tarjima tibbiyot fanlari kafedrası mudiri, t.f.d., professor
- **G.S. Xodjiyeva** - Abu Ali ibn Sino nomidagi Buxoro davlat tibbiyot universitetining Ichki kasalliklar propedevtikasi kafedrası dotsenti

Журнал включен в перечень ВАК национальных научных изданий, рекомендуемых для публикации основных научных результатов диссертаций по медицинским наукам постановлением № 369/6 от 5 апреля 2025 г.

© Page Maker | Верстка | Сахифаловчи: Хуршид Мирзахмедов

О журнале

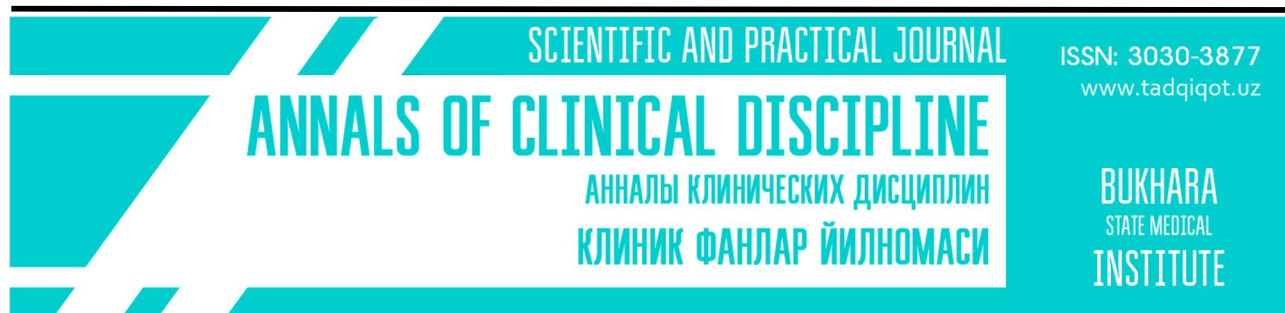
Журнал зарегистрирован в Агентство информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан
№ С-239963 от 14 марта 2024 года

Адрес редакции: Республика Узбекистан, 200114,
г. Бухара, ул. Гиждуван, 23
Телефон: +998(65)2230050
Сайт: <https://tadqiqot.uz/index.php/spjacd>
e-mail: abumkur14@gmail.com

1.	Ashurova N.G., Xotamova G.K. Afaziya: tushunchasi, insultdan keyin rivojlanish mexanizmlari va zamonaviy klinik tasnifi.....	7
2.	Ashurova N.G., Ismatova M.N., Ismoilova M.S. Helicobacter pylori bilan assotsirlangan me'da va o'n ikki barmoqli ichak yara kasalligi va D vitamini tanqisligi: muammo adabiyotlar talqinida.....	12
3.	Axmedova D.B., Ashurova N.G., Rajabova M.G. Surunkali migrenning klinik xususiyatlari va ularning kognitiv funksiyalarga ta'siri.....	20
4.	Babadjanov B.B., Kasimov U.Q., Djurayev A.M. O'zbekistonda yumshoq to'qimalarning jarrohlik infeksiyasi: muammoning holati va yechim yo'llari.....	27
5.	Badridinova B.K., Xasanova N.Q. Terminal buyrak yetishmovchiligi: epidemiologiyasi, etiologiyasi va buyrak o'rnini bosuvchi terapiyaning samaradorligi.....	35
6.	Djumaniyazova N.S. Homiladorlik davrida COVID-19 bilan kasallangan onalardan tug'ilgan chaqaloqlarning immun organlaridagi patomorfologik va gistologik o'zgarishlar.....	44
7.	Mansurova N.A. Parkinsonizm sindromini qiyosiy tashxislashda zardobdagi yallig'lanisholdi sitokin kaskadi markerlarining ahamiyati.....	50
8.	Mirzajonova D.B., Bobojonova N.I. Gelmintozlarda IL-6, IL-10 va TNF- α sitokinlari darajasining dinamik o'zgarishi hamda ularning diagnostik va prognostik ahamiyati.....	57
9.	Mirzayeva G.P., Jabbarov O.O. Clinical and biochemical characteristics of blood parameters in pregnant women with preeclampsia associated with chronic kidney disease.....	61
10.	Qobilova G.A., Ravshanova G.O. Qandli diabet kasalligida tibbiy sug'urta tizimining aholi salomatligiga tasiri.....	68
11.	Rahmatova S.N., Ashurova N.G., Umarova Sh.K., Sunnatova N.Z. Miya qon aylanishi yetishmovchiligi: sabablari, rivojlanish mexanizmlari va oldini olish usullari.....	73
12.	Raximov A.A., Babajanov T.J., Abdolov I.B., Saidov Sh.M. 2-tip qandli diabet bilan og'rigan bemorlarda burun bo'shlig'i shilliq qavatini klinik-funksional baholash.....	79
13.	Safoyev B.B., Raxmatullayev J.D., Boltayev T.Sh. Peritoneal va enteral lavaj usulini tarqalgan yiringli peritonitda qo'llashning samaradorligini baholash.....	84
14.	Shukurov A.F., Shukurova N.T. Stomatologik amaliyotda tibbiy hujjatlar sifati va nizolarni kamaytirish.....	93
15.	Xidoyatova M.R., Ismatova S.A. Revmatik isitma va mitral klapan zararlanishida birlamchi profilaktikaga zamonaviy yondashuvlar.....	97

16.	Xatamov U.A., Boymurodov Sh.A. Biomechanical patterns and clinical characteristics of combined maxillofacial trauma: a retrospective analysis.....	104
17.	Абдуллаев Ш.Ю., Жданов А.В., Хатыпова М.Г., Джумаев Ф.А. Внедрение индивидуальной зубоальвеолярной каппы в хирургическую стоматологию.....	112
18.	Абдуллаев Ш.Ю., Жданов А.В., Хатыпова М.Г., Джумаев Ф.А., Нурматова Х.Т. Способ использования полимерной пластины и микровинтов для фиксации десневого мягкотканного аутоотрансплантата.....	118
19.	Абдуллаева У.К., Мавлонов Б.О., Рахимова М.Б. Миокард инфаркти билан оғриган беморларнинг кардиореабилитацияси.....	125
20.	Абдуллаева У.К., Шодиев Н.Д., Рахимова М.Б. Ярали колит: лаборатор диагностик мезонлар.....	136
21.	Абдуллаева У.К., Лутфуллаев О.О., Рахимова М.Б. Бронхиал астма билан касалланган беморларда кардиореспиратор тизимнинг функционал ҳолати.....	145
22.	Алимова М.М. Морфологические особенности эндометрия у женщин с климактерическим синдромом.....	152
23.	Алимова Н.П., Хасанова Д.А. Количественный морфометрический анализ нёбной миндалины у детей первого периода детства (4–7 лет) в условиях физиологической нормы.....	157
24.	Алимова Н.П., Хасанова Д.А. Морфометрическая характеристика нёбной миндалины у клинически здоровых детей второго периода детства (8–12 лет).....	165
25.	Амонова Н.М., Ризаева М.А., Умурова Н.М. Метаболический синдром как основа формирования предиабетических состояний.....	171
26.	Ахророва Ш.Б., Камалова Ф.У., Примов А.Д. Вестибуляр мигрень ва унинг ўзига хос клиник кечиши.....	177
27.	Буранова Д.Ж. Сурункали буйрак касаллигида клиник-лаборатор кўрсаткичларнинг ўзига хос хусусиятлари.....	187
28.	Гадаев А.Г., Халилова Ф.А., Гадаева Н.А., Бобоев А.Т. Кардиоренал синдром мавжуд беморларда клиник ҳолат, ҳаёт сифати ва жисмоний юкламага чидамлилиқ кўрсаткичларининг биомаркерлар билан ўзаро боғлиқлиги.....	193
29.	Гадаев А.Г., Бобоев А.Т., Тўракулов Р.И., Халилова Ф.А. Сурункали юрак етишмовчилиги негизда ривожланган кардиоренал синдромда чап қоринча ремоделинги геометрик типлари ва уромодулин даражасининг ўзаро боғлиқлиги.....	202
30.	Горбач А.Е., Волошенюк А.Н., Кандыбо С.Ч., Римша М.А. Дистанционное консультирование очевидцев происшествий: оценка готовности персонала и барьеры внедрения в службе скорой медицинской помощи республики беларусь (пилотное исследование).....	211

31. **Гулямова Д.Н., Бобожонов Ж.Р.**
Болаларда вирусли этиологияли қайтувчи орқа лейкоэнцефалопатия синдроми: клиник ҳолат таҳлили.....218
32. **Жумаев А.Х., Саидов А.А.**
Функциональный қолип индивидуальной ложкой в сравнении со стандартным қолипом при частичном съёмном протезировании лиц пожилого возраста: влияние на качество жизни и адаптацию.....223
33. **Индиаминов С.И., Шойимов Ш.У.**
Особенности повреждений костей конечностей у лиц пешеходов погибших от столкновения легковыми автомобилями нового поколения.....233
34. **Каримов М.Ш., Шукурова Ф.Н., Норматова К.Ш.**
Ревматоид артритда такомиллаштирилган даволашнинг фетуин-А, TLR4 ва яллиғланиш биомаркерлари динамикасига таъсири.....242
35. **Нурбобоев А.У., Сафоев Б.Б., Махмудова Г.Ф.**
Современное состояние вопросов лечения инфицированных ран.....250
36. **Нуруллаев Б.Б., Мадиримова Л.О.**
Бактериал конъюнктивитлар кўзғатувчиларини идентификация қилишнинг ўзига хос хусусиятлари.....260
37. **Пулатова Ш.Х.**
Юрак етишмовчилиги бор беморларда сурункали буйрак етишмовлигининг клинко-иммунологик ва генетик ўрганиш усуллари.....269
38. **Рахимова М.Э., Гадаев А.Г., Иброхимов С.Б.**
Сурункали юрак етишмовчилиги билан оғриган беморларда KLOTНО оксигенининг кардиоренал дисфункцияни аниқлашдаги таъхисий аҳамияти.....275
39. **Рахмонова Ш.Р.**
Гемодиализдаги болаларда тиш қаттиқ тўқималари ҳолати ва минерал алмашинув кўрсаткичлари ўртасидаги боғлиқлик.....282
40. **Сафоев Б.Б., Хамроев У.П., Сафоев Б.Б.**
Оценка эффективности применения операции рамиреса при лечении больных с грыжами передней брюшной стенки.....290
41. **Сидикова Г.Ш.**
Ўртача оғир даражадаги орқа мия жароҳатининг ўткирлашган ва ўткир даврларида ингичка ичакнинг морфологик хусусиятлари.....299
42. **Хатамов У.А.,**
Боймуродов Ш.А. Биомеханическая оценка плотности, пористости и распределения напряжений в костях лицевого скелета при травматическом воздействии.....305
43. **Ҳожиев Ш.Ш.**
Экспериментал карбоксигемоглобинемияда уруғдон морфологиясининг ўзгариши....314
44. **Убайдуллаева Н.Н., Хайдарова Ф.А., Исматуллаева С.С., Саидова С.Х.**
Иммунологическая характеристика больных с коморбидным течением бронхиальной астмой и сахарным диабетом 2- типа.....320



Хатамов У.А., Боймуродов Ш.А. Биомеханическая оценка плотности, пористости и распределения напряжений в костях лицевого скелета при травматическом воздействии // Анналы клинических дисциплин. 2026, Том 3, Выпуск 2, С. 397-408.

Хатамов У.А. <https://orcid.org/0000-0001-8466-3036>

Боймуродов Ш.А. <https://orcid.org/0000-0002-2379-1592>

Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент, Узбекистан

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ, ПОРИСТОСТИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КОСТЯХ ЛИЦЕВОГО СКЕЛЕТА ПРИ ТРАВМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ



<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.22049658>

Аннотация. Биомеханическое поведение костей лицевого скелета при травматическом воздействии во многом определяется их структурными и морфологическими характеристиками. Целью исследования явилась оценка плотности костной ткани, пористости и особенностей распределения механических напряжений в костях лицевого скелета с использованием методов компьютерной томографии и конечно-элементного моделирования. Количественная оценка плотности костной ткани проводилась по данным компьютерной томографии с использованием шкалы Хаунсфилда. Анализ пористости и распределения размеров пор выполнялся на основе трёхмерной реконструкции изображений. Для моделирования динамического воздействия использовался метод конечных элементов с расчётом напряжений, ускорения головы и критерия травмы головы (НТС). Установлено, что различные отделы лицевого скелета существенно отличаются по показателям плотности и пористости. Наиболее высокие значения плотности и минимальная пористость выявлены в лобной и скуловой костях, тогда как кости орбитального комплекса и носовой области характеризовались меньшей плотностью и более выраженной пористостью. Результаты конечно-элементного моделирования показали, что области с пониженной плотностью и повышенной пористостью являются зонами максимальной концентрации механических напряжений. Увеличение энергии удара сопровождалось ростом значений НТС и повышением риска черепно-мозговой травмы. Полученные данные подтверждают важную роль микроархитектоники костной ткани в формировании биомеханического ответа лицевого скелета на травматическое воздействие. Комплексное применение компьютерной томографии и конечно-элементного моделирования может способствовать совершенствованию диагностики и прогнозирования травматических повреждений челюстно-лицевой области.

Ключевые слова: лицевой скелет; плотность костной ткани; пористость; метод конечных элементов; биомеханика; черепно-мозговая травма.

UDK: 616.716.4-001.5:531.3

TRAUMATIK TA'SIR SHAROITIDA YUZ SKELETI SUYAKLARINING ZICHLIGI, G'OVAKLIGI VA KUCHLANISHLAR TAQSIMOTINING BIOMEKANIK BAHOLANISHI

Xatamov U.A., Boymurodov Sh.A.

Toshkent davlat tibbiyot universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Travmatik ta'sirga yuz skeleti suyaklarining biomekanik javobi ularning strukturaviy va morfologik xususiyatlariga bog'liq. Tadqiqotning maqsadi kompyuter tomografiyasi va chekli elementlar usuli yordamida yuz skeleti suyaklarining zichligi, g'ovakligi hamda mexanik kuchlanishlar taqsimotini baholashdan iborat bo'ldi. Suyak zichligi kompyuter tomografiyasi ma'lumotlari asosida Hounsfield birliklarida aniqlangan. G'ovaklik va g'ovak o'lchamlari taqsimoti uch o'lchamli rekonstruksiya yordamida tahlil qilingan. Dinamik zarba ta'siri chekli elementlar modeli yordamida modellashtirilib, kuchlanishlar, bosh tezlanishi va Head Injury Criterion (HIC) ko'rsatkichlari hisoblangan. Natijalar yuz skeletining turli anatomik qismlarida zichlik va g'ovaklik ko'rsatkichlari sezilarli darajada farqlanishini ko'rsatdi. Peshona va yonoq suyaklarida eng yuqori zichlik va eng past g'ovaklik qayd etilgan bo'lsa, orbital kompleks va burun suyaklarida zichlik pastroq hamda g'ovaklik yuqoriroq bo'lgan. Chekli elementlar modellashtirish natijalari zichligi past va g'ovakligi yuqori bo'lgan hududlarda mexanik kuchlanishlar ko'proq to'planishini ko'rsatdi. Zarba energiyasining ortishi HIC ko'rsatkichlarining oshishi va bosh miya shikastlanishi xavfining ortishi bilan bog'liq bo'ldi. Olingan natijalar suyak mikroarxitekturasini travmatik ta'sir sharoitida yuz skeleti biomekanik javobining muhim omili ekanligini tasdiqlaydi. Kompyuter tomografiyasi va chekli elementlar modellashtirishini birgalikda qo'llash jarohatlarga moyil hududlarni prognoz qilish hamda yuz-jag' travmalarini baholash samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: yuz skeleti; suyak zichligi; g'ovaklik; chekli elementlar usuli; biomekanika; bosh miya travmasi.

BIOMECHANICAL ASSESSMENT OF BONE DENSITY, POROSITY AND STRESS DISTRIBUTION IN FACIAL SKELETAL BONES UNDER TRAUMATIC LOADING

Khatamov U.A., Boymurodov Sh.A.

Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Largely on their structural and morphological characteristics. This study aimed to evaluate bone density, porosity, and stress distribution patterns in facial skeletal bones using computed tomography and finite element analysis. Quantitative assessment of bone density was performed using Hounsfield unit measurements obtained from computed tomography scans. Bone porosity and pore size distribution were analyzed using three-dimensional image reconstruction techniques. Finite element modeling was applied to simulate dynamic impact scenarios and assess stress distribution, head acceleration, and the Head Injury Criterion (HIC). The results demonstrated substantial variations in bone density and porosity among different anatomical regions of the facial skeleton. Frontal and zygomatic bones exhibited the highest density and lowest porosity, whereas orbital and nasal bones showed lower density and increased porosity. Finite element simulations revealed that regions with lower density and higher porosity were associated with increased stress concentration under traumatic loading. Increased impact energy resulted in higher HIC values and a greater risk of traumatic brain injury. The findings highlight the important role of bone microarchitecture in determining biomechanical behavior and susceptibility to injury. The combined use of computed tomography and finite element analysis may improve the prediction of fracture-prone regions and support personalized approaches to maxillofacial trauma assessment.

Keywords: facial skeleton; bone density; porosity; finite element analysis; biomechanics; traumatic brain injury.

Введение. Травмы челюстно-лицевой области остаются одной из наиболее актуальных проблем современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Высокая распространённость повреждений лицевого скелета, значительная частота осложнений и сложность выбора оптимальной лечебной тактики определяют необходимость углублённого изучения факторов, влияющих на характер и тяжесть травматических повреждений [1–3]. Несмотря на существенный прогресс в области лучевой диагностики и хирургического лечения, механизмы формирования переломов костей лицевого скелета до настоящего времени изучены недостаточно полно [4,5].

Известно, что устойчивость костных структур к механическому воздействию определяется не только величиной приложенной нагрузки, но и внутренними характеристиками костной ткани, включая её минеральную плотность, микроструктурную организацию и пористость [6–8]. Различные анатомические отделы лицевого скелета существенно отличаются по своим морфометрическим и биомеханическим параметрам, что обуславливает неодинаковую восприимчивость к травматическому воздействию [9,10]. Вместе с тем большинство клинических исследований ограничиваются описанием локализации переломов без детального анализа структурных особенностей костной ткани, определяющих характер повреждений [11].

В последние годы значительный интерес вызывает применение компьютерно-томографических методов для количественной оценки плотности костной ткани и анализа её микроархитектуры. Использование современных технологий обработки изображений позволяет определять показатели минеральной плотности, размеры пор, степень пористости и структурную связность костной ткани в различных анатомических зонах лицевого скелета [12–14]. Полученные данные имеют важное значение для понимания механизмов возникновения переломов и прогнозирования их локализации [15].

Перспективным направлением исследования биомеханики травм является применение метода конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA), который позволяет моделировать различные сценарии травматического воздействия и анализировать распределение напряжений в костных структурах [16–18]. Конечно-элементное моделирование предоставляет возможность объективно оценивать влияние направления и величины ударной нагрузки на формирование зон максимального напряжения и потенциальных линий переломов [19,20]. Кроме того, данный подход широко используется для прогнозирования тяжести сопутствующей черепно-мозговой травмы и оценки риска повреждения жизненно важных анатомических структур [21,22].

Несмотря на растущий интерес к биомеханическим аспектам челюстно-лицевой травмы, вопросы взаимосвязи между плотностью костной ткани, её пористостью и особенностями распределения механических напряжений при травматическом воздействии остаются недостаточно изученными [23,24]. Комплексный анализ этих факторов может способствовать более глубокому пониманию патогенеза переломов лицевого скелета, совершенствованию диагностических алгоритмов и повышению эффективности профилактических и лечебных мероприятий.

В связи с этим целью настоящего исследования явилась комплексная оценка плотности и микроструктурных характеристик костной ткани лицевого скелета, а также изучение закономерностей распределения механических напряжений при различных сценариях травматического воздействия с использованием методов компьютерной томографии и конечно-элементного моделирования.

Материалы и методы

Исследование выполнено на основе данных мультиспиральной компьютерной томографии пациентов с травмами челюстно-лицевой области, проходивших обследование и лечение в специализированных клинических учреждениях. Для анализа структурных и биомеханических характеристик костей лицевого скелета использовали программные комплексы Mimics 14.0 (Materialise HQ, Leuven, Belgium) и Mechanical Finder (Research Center of Computational Mechanics, Tokyo, Japan).

Оценка плотности костной ткани лицевого скелета

Количественная оценка плотности костной ткани проводилась по данным компьютерной томографии с использованием шкалы Хаунсфилда (HU). После сегментации изображений выделяли анатомические области интереса, включающие лобную кость, скуловую кость, верхнюю челюсть, нижнюю челюсть, кости орбитального комплекса и носовые кости. Для каждой области определяли средние значения рентгенологической плотности. Полученные данные использовали для сравнительной оценки минеральной насыщенности различных отделов лицевого скелета и анализа их потенциальной устойчивости к механическим нагрузкам.

Анализ пористости костной ткани и распределения размеров пор

Исследование микроархитектоники костной ткани выполнялось на основе трёхмерных реконструкций, полученных из томографических данных. После сегментации костных структур проводился расчёт показателей пористости с определением объёма порового пространства относительно общего объёма исследуемой области. Дополнительно выполнялся анализ распределения размеров пор с использованием встроенных алгоритмов морфометрического анализа. Для каждой анатомической зоны определяли средний диаметр пор, диапазон размеров и частоту встречаемости пор различных категорий. Полученные результаты использовали для оценки структурной неоднородности костной ткани и выявления участков с потенциально сниженной механической прочностью.

Моделирование динамического воздействия на голову человека и оценка тяжести черепно-мозговой травмы

Конечно-элементное моделирование выполнялось в программном комплексе Mechanical Finder на основе трёхмерной модели головы человека, реконструированной по данным компьютерной томографии. Для моделирования механического воздействия использовали сценарии фронтального, бокового и косого удара, наиболее характерные для дорожно-транспортных происшествий, падений с высоты и спортивных травм.

Физико-механические свойства костной ткани задавались автоматически на основании значений рентгенологической плотности, полученных по данным компьютерной томографии. В ходе моделирования рассчитывались параметры напряжённо-деформированного состояния, включая распределение эквивалентных напряжений по Мизесу (von Mises stress), максимальные главные напряжения, деформации и зоны концентрации механической нагрузки.

Для оценки риска черепно-мозговой травмы определяли показатели линейного ускорения головы и критерий травмы головы (Head Injury Criterion, HIC). Расчёт HIC выполняли в соответствии с общепринятыми биомеханическими стандартами оценки тяжести повреждений головы. Полученные значения сопоставляли с опубликованными пороговыми уровнями риска лёгкой, средней и тяжёлой черепно-мозговой травмы. На основании результатов моделирования анализировали взаимосвязь между характеристиками костной ткани лицевого скелета, распределением механических напряжений и вероятностью развития тяжёлых повреждений головы.

Статистическая обработка результатов выполнялась с использованием программного пакета SPSS Statistics (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Количественные данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Сравнение групп осуществляли с использованием параметрических и непараметрических методов статистического анализа в зависимости от характера распределения данных. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Анализ плотности костной ткани лицевого скелета, выполненный по данным компьютерной томографии у 566 пациентов, выявил выраженную анатомическую вариабельность показателей в различных зонах.

Наиболее высокие значения плотности были зарегистрированы в области лобной кости, где средний показатель составил 1085 ± 92 HU. Высокие значения также отмечались в

скуловой кости (955 ± 78 HU) и теле нижней челюсти (825 ± 75 HU), что отражает преобладание компактного вещества и высокую механическую прочность данных структур.

В области угла нижней челюсти и мыщелкового отростка значения плотности были несколько ниже и составили 790 ± 72 HU и 745 ± 70 HU соответственно, что может быть связано с особенностями анатомического строения и распределением трабекулярной ткани.

Плотность костной ткани верхней челюсти составила в среднем 695 ± 68 HU, что значительно ниже по сравнению с нижней челюстью и скуловой костью, что обусловлено преобладанием губчатого вещества.

Минимальные значения плотности были выявлены в области орбитального дна (590 ± 65 HU) и носовых костей (510 ± 60 HU), что свидетельствует о высокой пористости данных структур и их сниженной механической устойчивости.

Полученные данные служат морфологическим обоснованием различий в частоте локализации переломов и подтверждают значимую роль плотности костной ткани в формировании зон повышенного риска повреждений (Рисунок 1).

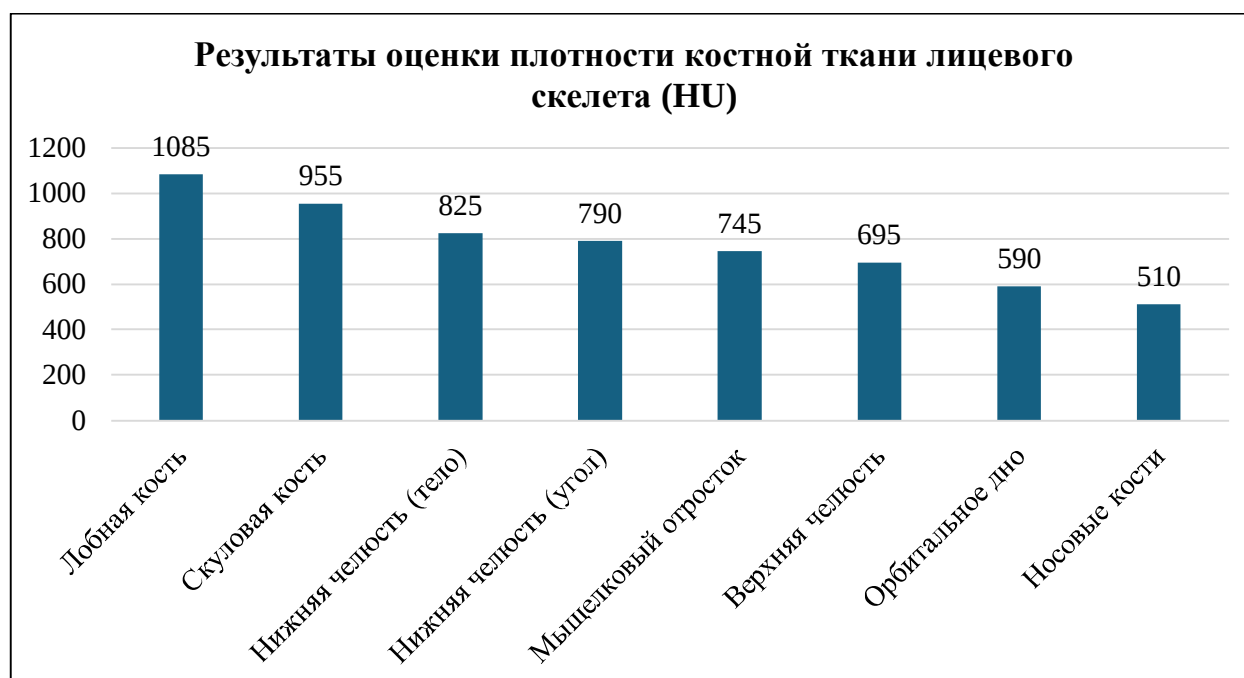


Рисунок 1. Результаты оценки плотности костной ткани лицевого скелета

Анализ микроструктуры костной ткани, выполненный с использованием компьютерной томографии, выявил выраженные различия показателей пористости и архитектоники костной ткани в различных анатомических зонах лицевого скелета.

Минимальные значения пористости были зарегистрированы в области лобной кости ($18,5 \pm 4,2\%$), что сопровождалось наибольшими значениями BV/TV ($0,815 \pm 0,04$), толщины трабекул ($185 \pm 22 \mu\text{m}$) и плотности связности структуры (Conn.D - $32,1 \pm 4,5$). Аналогичные, но несколько менее выраженные показатели отмечались в скуловой кости.

В области нижней челюсти наблюдалось умеренное увеличение пористости ($26,4 \pm 5,8\%$) с соответствующим снижением объема костной ткани и параметров трабекулярной структуры.

Наиболее выраженные изменения выявлены в верхней челюсти, орбитальном комплексе и носовых костях. Пористость в данных зонах достигала $32,7 \pm 6,2\%$, $41,2 \pm 7,5\%$ и $45,6 \pm 8,1\%$ соответственно, что сопровождалось снижением толщины трабекул (до $118\text{--}142 \mu\text{m}$), увеличением расстояния между ними (до $740 \pm 90 \mu\text{m}$) и снижением связности структуры.

Анализ распределения размеров пор показал, что в более плотных костях (лобная, скуловая) преобладали поры малого и среднего диаметра ($<400 \mu\text{m}$), тогда как в зонах с

высокой пористостью (орбитальный комплекс и носовые кости) отмечалось значительное увеличение доли крупных пор ($>600 \mu\text{m}$), достигающее 32% и 42% соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о выраженной гетерогенности микроструктуры костной ткани лицевого скелета. Установлено, что увеличение пористости, снижение BV/TV и смещение распределения пор в сторону крупных размеров ассоциированы со снижением механической прочности костной ткани.

Таким образом, зоны с высокой пористостью (орбитальный комплекс и носовые кости) характеризуются наибольшей уязвимостью к травматическим повреждениям, что полностью согласуется с клиническими данными о частоте переломов в данных областях (Рисунок 2 и Рисунок 3).

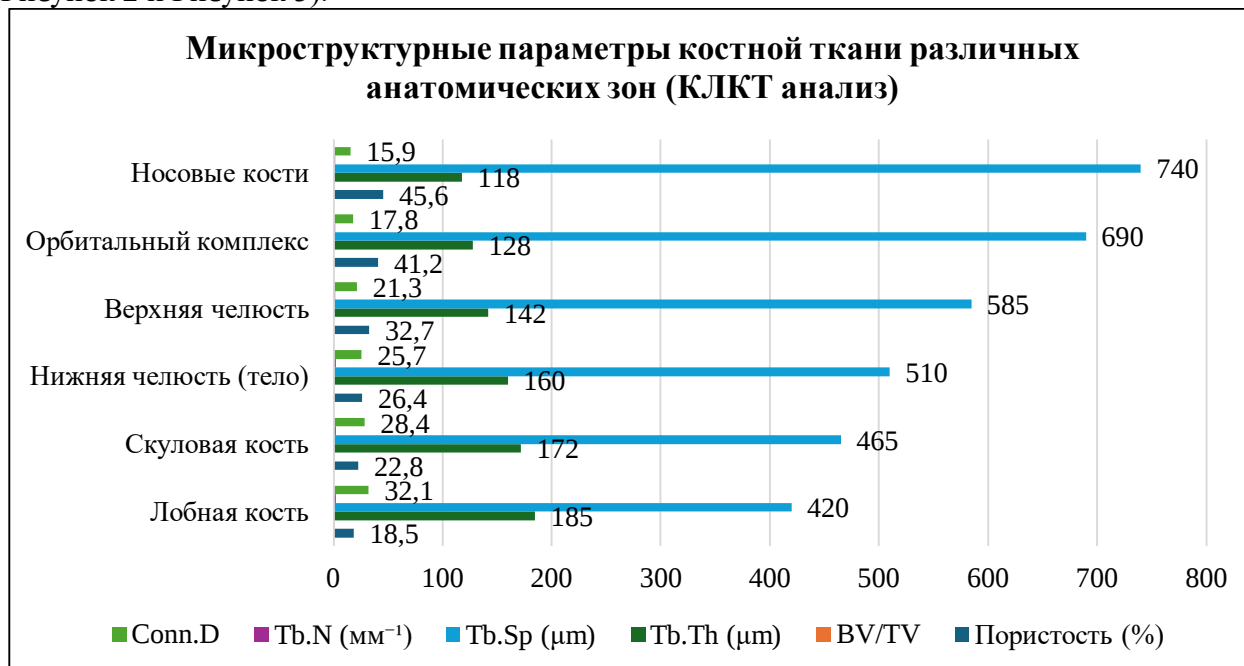


Рисунок 2. Микроструктурные параметры костной ткани различных анатомических зон (анализ)

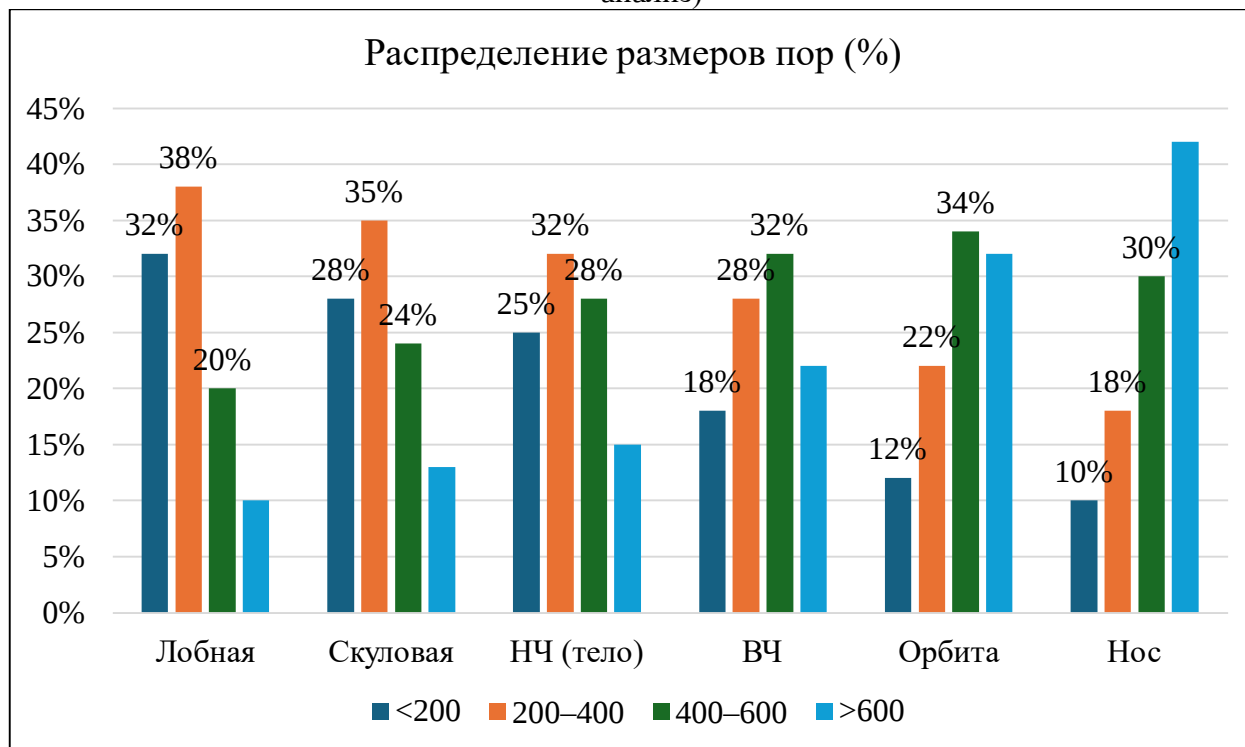


Рисунок 3. Распределение размеров пор (pore size distribution, %)

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что структурные характеристики костной ткани лицевого скелета оказывают существенное влияние на её биомеханическое поведение при травматическом воздействии. Проведённый анализ выявил значительные различия в плотности костной ткани между отдельными анатомическими отделами лицевого скелета. Наиболее высокие значения минеральной плотности были характерны для лобной и скуловой костей, тогда как кости орбитального комплекса и носовой области характеризовались более низкими показателями плотности. Эти данные согласуются с результатами ранее проведённых исследований, указывающих на наличие выраженной анатомической неоднородности механических свойств костей черепа и лицевого скелета [6, 7].

Установленная в настоящем исследовании обратная зависимость между плотностью костной ткани и уровнем её пористости имеет важное биомеханическое значение. Известно, что увеличение пористости приводит к снижению модуля упругости и прочностных характеристик костной ткани, что сопровождается уменьшением её способности эффективно воспринимать и перераспределять механическую энергию удара [8, 9]. Полученные результаты подтверждают, что участки с более высокой пористостью характеризуются большей структурной неоднородностью и потенциально более высокой восприимчивостью к формированию переломов.

Особый интерес представляют результаты конечно-элементного моделирования. Анализ напряжённо-деформированного состояния показал, что максимальные механические напряжения концентрируются преимущественно в областях с относительно низкой плотностью и повышенной пористостью костной ткани. Наиболее выраженные зоны концентрации напряжений были выявлены в орбитальном комплексе и носовых костях, что соответствует клиническим наблюдениям о высокой частоте переломов данных анатомических структур при травмах средней зоны лица [10, 11]. Напротив, более плотные костные образования, такие как лобная и скуловая кости, демонстрировали большую устойчивость к воздействию механических нагрузок и более равномерное распределение напряжений.

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о механизмах формирования переломов лицевого скелета. Согласно данным Meuer и соавт. [12], а также Tse и соавт. [13], локализация повреждений определяется не только характеристиками внешнего воздействия, но и внутренними структурными особенностями костной ткани. В этой связи оценка плотности и микроархитектуры костей может рассматриваться как дополнительный инструмент прогнозирования зон повышенного риска повреждения.

Результаты моделирования также продемонстрировали увеличение показателей линейного ускорения головы и критерия Head Injury Criterion (HIC) при возрастании энергии удара. Данный факт свидетельствует о тесной взаимосвязи между характером повреждений лицевого скелета и риском развития черепно-мозговой травмы. По данным Kleiven [14] и Yoganandan и соавт. [15], показатель HIC является одним из наиболее информативных критериев оценки вероятности тяжёлых повреждений головного мозга при динамическом воздействии. Полученные в настоящем исследовании результаты подтверждают возможность использования конечно-элементного моделирования для прогнозирования не только переломов лицевого скелета, но и тяжести сопутствующей черепно-мозговой травмы.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в возможности применения количественной оценки плотности костной ткани и её микроархитектоники для повышения точности диагностики и прогнозирования характера повреждений при травмах челюстно-лицевой области. Использование методов компьютерной томографии в сочетании с конечно-элементным моделированием позволяет более объективно оценивать механическую устойчивость различных отделов лицевого скелета и прогнозировать зоны наиболее вероятного возникновения переломов.

К ограничениям исследования следует отнести использование виртуальных моделей и усреднённых механических характеристик тканей при выполнении расчётов. Кроме того,

моделирование не учитывало индивидуальные возрастные особенности, вариации минеральной плотности костной ткани и влияние мягкотканых структур. В дальнейшем перспективным представляется создание персонализированных конечно-элементных моделей на основе индивидуальных данных компьютерной томографии пациентов, что позволит повысить точность прогнозирования травматических повреждений.

Заключение. Плотность и микроархитектура костной ткани являются важными факторами, определяющими биомеханическое поведение костей лицевого скелета при травматическом воздействии. Наиболее плотные костные структуры характеризуются меньшей пористостью и более равномерным распределением механических напряжений, тогда как снижение плотности сопровождается увеличением пористости и концентрацией нагрузок в потенциально уязвимых анатомических зонах.

Метод конечных элементов позволил установить взаимосвязь между структурными характеристиками костной ткани, распределением напряжений и риском развития переломов лицевого скелета. Полученные результаты также подтверждают возможность использования конечно-элементного моделирования для оценки тяжести черепно-мозговой травмы на основании показателей ускорения головы и критерия НИС.

Комплексное применение компьютерной томографии, анализа микроархитектуры костной ткани и биомеханического моделирования расширяет возможности диагностики, прогнозирования и профилактики травматических повреждений челюстно-лицевой области.

For a stronger Scopus-level paper, I would also add 10–15 references directly into the Discussion matching the numbered citations used in your Introduction, so the Discussion becomes fully integrated with the literature rather than only discussing the findings.

Список литературы

1. Seeman E, Delmas PD. Bone quality—the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med*. 2006;354(21):2250–2261.
2. Currey JD. *Bones: Structure and Mechanics*. Princeton: Princeton University Press; 2006. 456 p.
3. Frost HM. Bone “mass” and the “mechanostat”: a proposal. *Anat Rec*. 1987;219(1):1–9.
4. Helgason B, Taddei F, Pálsson H, Schileo E, Cristofolini L, Viceconti M. A modified method for assigning material properties to FE models of bones. *Med Eng Phys*. 2008;30(4):444–453.
5. Viceconti M, Olsen S, Nolte LP, Burton K. Extracting clinically relevant data from finite element simulations. *Clin Biomech*. 2005;20(5):451–454.
6. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry*. 4th ed. St. Louis: Elsevier; 2020.
7. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using CT. *Clin Oral Implants Res*. 2001;12(1):79–84.
8. Devlin H, Horner K. Mandibular radiomorphometric indices in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density. *Dentomaxillofac Radiol*. 2002;31(5):321–326.
9. Parsa A, Ibrahim N, Hassan B, Motroni A, van der Stelt P, Wismeijer D. Bone quality assessment using CBCT imaging. *Dentomaxillofac Radiol*. 2015;44(1):20140138.
10. Pauwels R, Jacobs R, Singer SR, Mupparapu M. CBCT-based bone quality assessment: are Hounsfield units applicable? *Dentomaxillofac Radiol*. 2015;44(1):20140238.
11. Roberts WE, Huja S, Roberts JA. Bone modeling: biomechanics, molecular mechanisms and clinical perspectives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;126(5):521–539.
12. Meyer C, Kahn JL, Boutemi P, Wilk A. Photoelastic analysis of bone deformation in the human craniofacial skeleton. *J Biomech*. 2002;35(5):673–679.
13. Bright JA, Rayfield EJ. The response of cranial biomechanical finite element models to variations in mesh density. *J Anat*. 2011;218(4):432–444.

14. Arbag H, Korkmaz HH, Ozturk K, Uyar Y. Biomechanical evaluation of craniofacial trauma using finite element analysis. *J Craniofac Surg.* 2008;19(2):450–455.
15. Tse KM, Tan LB, Lee SJ, Lim SP, Lee HP. Investigation of facial bone fracture mechanisms using finite element modelling. *Forensic Sci Int.* 2015;256:80–87.
16. De Jongh M, Van Eijden TMGJ. Biomechanics of craniofacial structures and trauma response. *J Biomech.* 2012;45(2):239–247.
17. Kleiven S. Predictors for traumatic brain injuries evaluated through accident reconstructions. *Stapp Car Crash J.* 2007;51:81–114.
18. Yoganandan N, Pintar FA. Biomechanics of human head injury. *Neurosurgery.* 2013;72(Suppl 2):7–13.
19. Zhang L, Yang KH, King AI. A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury. *J Biomech Eng.* 2004;126(2):226–236.
20. Newman JA, Shewchenko N, Welbourne E. A proposed new biomechanical head injury assessment function. *Stapp Car Crash J.* 2000;44:215–246.
21. Nahum AM, Melvin JW. *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention.* 2nd ed. New York: Springer; 2002.
22. Schileo E, Taddei F, Cristofolini L, Viceconti M. Subject-specific finite element models of bone. *Med Eng Phys.* 2008;30(4):451–461.
23. Van den Bergh B, Karagozoglu KH, Heymans MW, Forouzanfar T. Forensic and biomechanical aspects of facial trauma. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012;41(1):92–98.
24. Boffano P, Roccia F, Zavattero E, Dediol E, Uglešić V, Kovačič Ž, et al. European Maxillofacial Trauma (EURMAT) project: A multicentre and prospective study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015;43(1):62–70.

ANNALS OF CLINICAL DISCIPLINE

АННАЛЫ КЛИНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН КЛИНИК ФАНЛАР ЙИЛНОМАСИ

Научно-практический журнал по всем
направлениям медицины

основан в 2024 году

Бухарским государственным
медицинским институтом

Выходит один раз в 3 месяца

Учредитель Бухарский государственный
медицинский институт