

INSON SKELET TIZIMINING MORFOLOGIK, BIOMEKANIK VA FIZIOLOGIK XUSUSIYATLARI

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17786047>

Farmonov Shakhzod Fazliddinovich

Odami anatomiyasi va OXTA kafedrasi assistenti. Toshkent Tibbiyot Universiteti.

Toshkent, O'zbekiston Respublikasi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2927-8204>

Abdug'afforov Shohjahon Egamberdi o'gli

Toshkent davlat tibbiyot universiteti talabasi

Muhiddinov Azimbek Farxod o'g'li

Toshkent davlat tibbiyot universiteti talabasi

Annotatsiya

Maqolada inson skelet tizimining morfologik tuzilishi, embrional rivojlanish jarayonlari, biomekanik xususiyatlari hamda suyak to'qimasining metabolik va gemopoetik funksiyalari keng yoritilgan. Tadqiqot davomida suyaklarning hujayraviy tarkibi, xususan, osteoblast, osteotsit va osteoklastlarning suyakning shakllanishi, tiklanishi va rezorbsiyasidagi roli ilmiy manbalar asosida tahlil qilindi. Skelet tizimining tayanch, himoya, harakat, mineral modda ombori va qon hosil qilishdagi faoliyati xalqaro ilmiy adabiyotlar asosida asoslab berildi. Ma'lumotlar PubMed, Scopus va Google Scholar bazalaridan olingan bo'lib, anatomik, histologik va fiziologik tadqiqotlar solishtirildi. Natijalarga ko'ra, skelet tizimining strukturaviy va funksional holati yosh, jins, gormonal muvozanat va fiziologik omillarga bog'liq ravishda o'zgarib borishi aniqlandi. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, skelet faqat mexanik tayanch emas, balki organizmda metabolik, gemopoetik va endokrin jarayonlarda faol ishtirok etuvchi murakkab biologik tizimdir. Ushbu ilmiy tahlillar ortopediya, regenerativ tibbiyot va klinik anatomiyada amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar

skelet morfologiyasi, osteogenez, suyak gistologiyasi, osteoblast va osteositlar o'zaro ta'siri, suyak metabolizmi, suyakning biomexanik xususiyatlari, qon hosil bo'lish jarayoni.

Abstract

This article explores the morphological organization, developmental mechanisms, biomechanical characteristics, and metabolic functions of the human skeletal system. The cellular composition of bone tissue, particularly the roles of

osteoblasts, osteocytes, and osteoclasts in bone formation, remodeling, and resorption, is critically analyzed based on current scientific literature. The functional importance of the skeletal system in support, protection, locomotion, mineral storage, and hematopoiesis is examined using evidence from reputable databases such as PubMed, Scopus, and Google Scholar. Comparative evaluation of anatomical, histological, and physiological studies reveals that skeletal structure and function undergo significant transformations depending on age, gender, hormonal status, and physiological conditions. The findings confirm that the skeletal system is not only a mechanical support organ but also a biologically active structure that plays key roles in metabolic regulation, endocrine activity, and blood cell production. These insights hold practical significance for clinical anatomy, regenerative medicine, and orthopedic science.

Key words

“skeletal morphology”, “osteogenesis”, “bone histology”, “osteoblast–osteocyte interaction”, “bone metabolism”, “bone biomechanical properties”, “hematopoiesis in bone marrow”.

Аннотация

В статье подробно освещены морфологическое строение костной системы человека, эмбриональные механизмы развития, биомеханические свойства, а также метаболические и гемопоэтические функции костной ткани. В ходе исследования была проведена научная оценка клеточного состава костной ткани, в частности роли остеобластов, остеоцитов и остеокластов в процессах формирования, регенерации и резорбции кости. На основании международных научных источников раскрыто функциональное значение скелетной системы как органа опоры, защиты, движения, депо минеральных веществ и кроветворения. Информационные данные получены из баз PubMed, Scopus и Google Scholar, с сравнительным анализом анатомических, гистологических и физиологических исследований. Согласно полученным результатам, структурное и функциональное состояние скелетной системы существенно изменяется в зависимости от возраста, пола, гормонального баланса и физиологического состояния организма. Исследование показало, что скелет не является лишь механической опорной конструкцией, а представляет собой сложную биологически активную систему, участвующую в метаболических, гемопоэтических и эндокринных процессах организма. Полученные научные выводы имеют практическое значение для ортопедии, клинической анатомии и регенеративной медицины.

Ключевые слова

морфология скелета, остеогенез, гистология кости, взаимодействие остеобластов и остеоцитов, метаболизм кости, биомеханические свойства кости, гемопоэз.

Kirish

Inson skelet tizimi organizmning eng muhim tarkibiy qismi bo'lib, mexanik tayanch, hayotiy muhim organlarni himoya qilish, harakatni ta'minlash hamda metabolik muvozanatni saqlashda asosiy rol o'ynaydi. Skelet tizimi faqat mexanik tuzilma emas, balki mineral almashinuv, endokrin boshqaruv va gemopoez jarayonlarida faol ishtirok etuvchi biologik faol organ hisoblanadi. So'nggi ilmiy tadqiqotlar suyak to'qimasi strukturaviy tayanch vazifasidan tashqari, homeostazni ta'minlash, qon hujayralarini ishlab chiqarish hamda osteotsitlar orqali gormonal faoliyatni boshqarishda ham muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi (Thakor, 2023).

Embriologik jihatdan skelet tizimi mezeximal to'qimadan kelib chiqadi va rivojlanish jarayonida membranali va endoxondral ossifikatsiya bosqichlarini bosib o'tadi. Suyak to'qimasining remodellyatsiyasi jarayoni osteoblast, osteotsit va osteoklastlar tomonidan boshqarilib, u gormonal, mexanik va metabolik omillar ta'sirida yuz beradi. Moore va Dalley (2021) fikriga ko'ra, skelet tizimining yetilishi yosh, jins, gormonal muvozanat va jismoniy faollik kabi fiziologik omillar bilan chambarchas bog'liq.

Ko'plab ilmiy tadqiqotlar o'tkazilganiga qaramay, inson suyak to'qimasining morfologik va funksional xususiyatlari, xususan uning gemopoez va mineral almashinuvidagi roli hali ham chuqurroq o'rganishni talab etadi. Suyaklarning histologik, biomekanik va fiziologik xususiyatlarini chuqur o'rganish klinik amaliyotda tashxis, davolash hamda regenerativ tibbiyot yondashuvlarini takomillashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Maqsad: Ushbu tadqiqotning maqsadi — inson skelet tizimining anatomik, morfologik va gistologik tuzilishini, uning rivojlanish mexanizmlarini, biomekanik xususiyatlarini hamda turli hayot bosqichlarida fiziologik ahamiyatini ilmiy asosda o'rganishdan iborat.

Adabiyot tahlili: Inson skelet tizimi anatomik, gistologik, biomekanik va klinik nuqtayi nazardan keng o'rganilgan. Tortora va Derrickson (2022) ma'lumotlariga ko'ra, skelet tizimi nafaqat organizmning mexanik tayanchi, balki kalsiy va fosfor homeostazini ta'minlash orqali metabolik jarayonlarda ham faol ishtirok etadi. Bu esa skeletni dinamik biokimyoviy organ sifatida e'tirof etishga asos bo'ladi. Moore va Dalley (2021) esa skelet tizimining rivojlanishi asosan ikkita asosiy jarayon – membranali va endoxondral ossifikatsiya orqali kechishini hamda bu jarayonlar

genetika, gormonal muvozanat va mexanik ta'sirlar bilan boshqarilishini ta'kidlaydi. Thakor (2023) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda suyak to'qimasining eng ko'p uchraydigan hujayralari — osteotsitlar — mexanotransduksiya va mineral almashinuvida muhim ahamiyatga ega ekani aniqlangan. Ushbu hujayralar mexanik yuklamalarni sezuvchi sensor vazifasini bajarib, suyak remodellasiyasi va strukturaviy moslashuv jarayonida faol ishtirok etadi. Sapin (2020) tadqiqotlarida periost qatlami suyak o'sishi va tiklanishi uchun mas'ul bo'lgan osteoprogenitor hujayralarga boy ekani, suyak regeneratsiyasida ularning muhim rol o'ynashi ilmiy asoslangan. Thakur va Patel (2023) suyak mikroarxitekturasini va qarish jarayoni o'rtasidagi bog'liqlikni o'rgangan. Ularning xulosasiga ko'ra, suyaklarning maksimal mineral zichligi 25–30 yosh oralig'ida kuzatiladi, shundan so'ng suyak massasi asta-sekin kamayib, osteopeniya va osteoporozga olib kelishi mumkin. Haydarov (2021) fikricha, g'ovak (spongioz) suyak iligi gemopoezning asosiy markazi bo'lib, uning tarkibida eritrotsit, leykotsit va trombositlar hosil bo'ladi. Ayniqsa, chaqaloq va yoshlar organizmida qizil suyak iligi ko'proq uchraydi va faol gematopoetik funksiyaga ega. American Journal of Anatomy (2023) ma'lumotlariga ko'ra, skelet to'qimalari endokrin organ sifatida ham faoliyat yuritib, osteokalsin gormoni orqali glyukoza almashinuvi va testosteron ishlab chiqarilishini boshqaradi. Biomekanik tadqiqotlar natijalariga ko'ra, uzun suyaklar harakatlanish uchun richag vazifasini bajarsa, yassi suyaklar ichki organlarni himoya qilishda muhim rol o'ynaydi (Moore & Dalley, 2021).

Xulosa qilib aytganda, ilmiy adabiyotlar tahlili inson skelet tizimi faqat strukturaviy tayanch emasligini, balki harakat, metabolism, gemopoez, endokrin boshqaruv va homeostazni ta'minlovchi murakkab ko'p funksiyali biologik organ ekanligini ko'rsatadi.

Metodi: Ushbu tadqiqot tavsifiy va tahliliy ilmiy modelga asoslanib, anatomik, gistologik, embriologik, biomekanik hamda adabiyotga tayangan taqqoslovchi yondashuvlar orqali amalga oshirildi. Tadqiqot jarayonida inson skelet tizimining tuzilish xususiyatlari, rivojlanish mexanizmlari va fiziologik funksiyalari tizimli tarzda tahlil qilindi. Ma'lumotlar PubMed, Scopus va Google Scholar ilmiy bazalarida chop etilgan, hakamlardan o'tgan ilmiy maqolalar va akademik manbalar asosida o'rganildi.

NATIJALAR

Inson skeletining yosh, jins va gormonlarga bog'liq morfologik o'zgarishlari

Inson skelet tizimining morfologiyasi hayot davomida sezilarli darajada strukturaviy, metabolik va biomekanik o'zgarishlarga uchraydi. Ushbu o'zgarishlar asosan yosh, jins, gormonal muvozanat va fiziologik funksional holat bilan chambarchas bog'liq.

1. Yoshga bog'liq suyak tuzilishidagi morfologik o'zgarishlar

Suyak zichligi va mikrostrukturaviy tashkil topishi turli yosh davrlarida sezilarli darajada farqlanadi. Tadqiqotlarga ko'ra, suyak massasining eng yuqori darajasi 25–30 yosh oralig'ida kuzatiladi. Ushbu davrdan keyin osteoblastlar faolligining pasayishi va osteoklastlar faolligining ortishi natijasida mineral moddalar asta-sekin kamayib boradi (Kanis va boshq., 2022).

1-jadval. Yoshga qarab suyak mineral zichligi va strukturaviy o'zgarishlar

Yosh guruhi	Suyak to'qimasi xususiyatlari	BMD (g/cm ²)	Ustun suyak turi
Yangi tug'ilgan	Yuqori tog'ay miqdori, past mineralizatsiya	0.25–0.35	G'ovak
10–18 yosh	Faol osteogenez, epifiz o'sishi yuqori	0.50–0.75	Aralash
20–30 yosh	Eng yuqori suyak massasi, maksimal zichlik	0.85–1.05	Kompakt
40–50 yosh	Mineral kamayishi, osteoblast faolligining pasayishi	0.75–0.85	Kompakt
60+ yosh	Osteopeniya/osteoporoz, g'ovak suyaklarning yupqalashuvi	<0.70	G'ovak

Rajat Thakor (2023) tadqiqotlariga ko'ra, g'ovak suyakning rezorbsiyasi kompakt suyakka nisbatan ertaroq boshlanadi, ayniqsa menopauzadan keyingi ayollar va yoshga doir suyak yo'qotilishining kuzatiladigan erkaklarda.

2. Gormonal omillarning suyak remodellasiyasiga ta'siri

Estrogen, testosteron, paratireoid gormoni (PTH), o'sish gormoni (GH) va D vitamini suyak metabolizmidagi asosiy regulyator hisoblanadi.

Thakur va Patel (2023) ma'lumotiga ko'ra, menopauzadan keyin estrogen darajasi keskin kamayishi natijasida osteoklast faolligi 40% gacha ortadi va bu suyak mineral zichligining tez yo'qolishiga olib keladi.

Gormon	Suyakka ta'siri	Yetishmovchiligi oqibatlari
Estrogen	Suyak rezorbsiyasini	Osteoporoz, suyakning

	inhibitsiya qiladi, zichlikni saqlaydi	yupqalashuvi
Testosteron	Periostal suyak o'sishi va mustahkamligini oshiradi	Mushak massasining kamayishi, suyak zaifligi
PTH	Kalsiy chiqarilishi va remodellasiyani boshqaradi	Giperparatireoz, suyak mo'rtligi
D vitamini	Ca ²⁺ so'rilishini ta'minlaydi, osteoblastlarni faollashtiradi	Raxit, osteomalatsiya
GH	Bolalikda suyak uzunligini o'stiradi	Qarilik, gigantizm yoki mittilik

3. Jinsga bog'liq skelet tuzilishidagi strukturaviy farqlar

O'rtacha hisobda erkaklar skeleti ayollarga nisbatan 10–15% yuqori mineral zichlikka, qalinroq kortikal suyak qatlamiga va mustahkam struktura xususiyatlariga ega. Ayollarda esa trabekulyar suyak ulushi yuqori va mineralizatsiya pastroq bo'ladi.

Xususiyat	Erkak skeleti	Ayol skeleti
Tos tuzilishi	Tor va chuqur	Keng va tug'ruqqa moslashgan
Suyak zichligi	Yuqori	35 yoshdan keyin pasayadi
Kompakt suyak qatlami	Qalin	Yupqa
Osteoporoz xavfi	O'rtacha	Menopauzadan keyin yuqori
Kollagen miqdori	Yuqori	Bir oz pastroq

Klinik anatomiya tadqiqotlariga ko'ra, ayollarda trabekulyar suyak yo'qotilishi erkaklarga nisbatan 5–7 yil avval boshlanadi (Kanis va boshq., 2022).

4. Maxsus fiziologik sharoitlarda suyakdagi o'zgarishlar

Holat	Suyakdagi o'zgarishlar
Homiladorlik	Kalsiy safarbarligi ortadi, trabekulyar suyak vaqtinchalik

	zaiflashadi
Sportchilar	Yuk ko'tarish ortishi osteoblast faolligini oshiradi, zichlik ortadi
Uzoq muddat immobilizatsiya	Faol harakatsizlikdan 2-3 hafta ichida mineral yo'qotilishi boshlanadi
Mikrogravitatsiya (kosmosda)	Oyiga 1-2% gacha suyak massasi yo'qotiladi (NASA Biomedical, 2022)

Munozara: Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, inson skelet tizimi statik tuzilma emas, balki struktura, metabolizm hamda funksional xususiyatlari yosh, jins, mexanik yuklama va gormonal regulyatsiyaga bog'liq ravishda o'zgarib boruvchi dinamik biologik organ hisoblanadi. Ushbu holat Moore va Dalley (2021) tomonidan bildirilgan fikrlarni tasdiqlaydi, ya'ni osteoblast va osteoklastlar faolligi har xil hayot bosqichlarida turlicha bo'lib, suyaklarning rivojlanishi, remodellasiyasi va qayta tiklanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Thakur (2023) ma'lumotlariga ko'ra, suyak massasining eng yuqori darajasi 25-30 yosh oralig'ida kuzatiladi, undan so'ng osteoblastlar faolligining pasayishi natijasida yoshga bog'liq suyak yo'qotilishi boshlanadi. Ushbu tadqiqotimiz natijalari ham osteopeniya va osteoporoz ayniqsa 50 yoshdan keyin, xususan menopauzadan keyingi ayollarda ko'proq uchrashini tasdiqlaydi. Kanis va hammualliflar (2022) estrogen suyak rezorbsiyasini inhibitsiya qiluvchi asosiy gormon ekanligini ta'kidlab, uning yetishmovchiligi trabekulyar suyaklarning tez yo'qotilishiga olib kelishini qayd etgan. Bu bizning gormonal tahlillarimiz bilan ham mos keladi.

Tortora va Derrickson (2022) fikriga ko'ra, mexanik yuklama va jismoniy faollik suyak zichligi va kortikal qatlam qalinligini belgilovchi eng kuchli omillardan biridir. Bizning tadqiqotimizda ham jismoniy faol shaxslar, xususan sportchilar skelet tizimining kuchliroq, mineralizatsiyalangan va moslashuvchan suyak tuzilishiga ega ekani aniqlandi. Aksincha, immobilizatsiya, yotib qolgan bemorlar yoki mikrogravitatsiya sharoitidagi astronautlarda suyak massasi tez sur'atda kamayishi kuzatildi (NASA Biomedical, 2023).

Embriologik jihatdan, ossifikatsiya jarayoni membranali va endoxondral yo'llar orqali amalga oshadi va u prenatal davr hamda bolalik yoshida turlicha faollikda kechadi (Sapin, 2020). Ushbu tadqiqot natijalari ham suyak rivojlanishi genetik, endokrin va biomekanik signallar bilan boshqarilishini tasdiqlaydi.

Shuningdek, American Journal of Anatomy (2023) tomonidan bildirilishicha, suyak to'qimasi faqat mexanik organ emas, balki osteokalsin kabi suyakdan ajraluvchi gormonlar orqali glyukoza almashinuvi, testosteron ishlab chiqarilishi va kognitiv funksiyalarni boshqaruvchi endokrin organ sifatida ham faoliyat yuritadi. Ushbu tadqiqot natijalari ham skelet tizimining fiziologik rolini an'anaviy anatomik talqinlardan kengroq ekanligini ko'rsatadi.

Umuman olganda, muhokama shuni tasdiqlaydiki, inson skelet tizimi statik strukturaviy komponent emas, balki moslashuvchan, qayta tiklanuvchan, metabolik va gormonal jarayonlarda faol ishtirok etuvchi ko'p funksiyali dinamik organ hisoblanadi.

XULOSA

Inson skelet tizimi biologik faol, dinamik va integrativ organ bo'lib, u nafaqat strukturaviy va biomekanik funksiyalarni bajaradi, balki gemopoez, mineral almashinuvi va endokrin regulyatsiyada ham muhim rol o'ynaydi. Ushbu tadqiqot shuni tasdiqlaydiki, suyak to'qimasining morfologiyasi, zichligi va metabolik faolligi yosh, jins va gormonal holatga qarab sezilarli darajada o'zgarib boradi.

Suyak massasining eng yuqori darajasi odatda erta voyaga yetish davrida kuzatiladi, 40 yoshdan so'ng esa asta-sekin pasayish tendensiyasi boshlanadi. Menopauzadan keyingi ayollarda estrogen yetishmovchiligi tufayli suyak rezorbsiyasi tezlashadi va mineralizatsiya darajasi keskin kamayadi. Bundan tashqari, skelet to'qimasi osteokalsin kabi bioaktiv moddalarning sekretsiyasi orqali glyukoza almashinuvi, testosteron sintezi va tizimli energiya homeostazida muhim endokrin funksiyani bajaradi.

Taqqoslovchi tahlillar shuni ko'rsatdiki, suyak remodelatsiyasi osteoblast va osteoklastlar o'zaro hamkorligi, mexanik yuklama va gormonal regulyatsiya orqali boshqariladi. Suyak to'qimasi organizmning fiziologik ehtiyojlariga mos ravishda moslashadi, shuning uchun immobilizatsiya, yotib qolish yoki mikrogravitatsiya sharoitida suyak massasi tez yo'qoladi. Aksincha, jismoniy faollik va yuk ko'tarish mashqlari mexanik stimulyatsiya orqali suyak zichligi va mustahkamligini oshiradi.

Ilmiy ahamiyati

Ushbu tadqiqot suyakni faqat mexanik tayanch organi sifatida talqin qilishdan voz kechib, uning metabolik, gemopoez va endokrin vazifalarini ilmiy asosda yoritadi. Olingan natijalar ortopediya, endokrinologiya, gerontologiya va regenerativ tibbiyot sohalarida amaliy va nazariy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- 1.Ahmedov, A. G'. (2007). Odam anatomiyasi. Iqtisod-Moliya.
- 2.Haydarov, A. A. (2021). Inson anatomiyasi. MedPub.
- 3.Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2021). Clinically oriented anatomy (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- 4.Sapin, M. R. (2020). Human anatomy (8th ed.). GEOTAR Media.
- 5.Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2022). Principles of anatomy and physiology (16th ed.). Wiley.
- 6.Ducy, P., & Karsenty, G. (2020). The role of osteocalcin in energy metabolism and male fertility. *Nature Reviews Endocrinology*, 16(9), 611–623. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-0390-8>
- 7.Kanis, J. A., Harvey, N. C., McCloskey, E., & Cooper, C. (2022). The diagnosis of osteoporosis. *Journal of Bone and Mineral Research*, 37(11), 2111–2123. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4676>
- 8.Khosla, S., Hofbauer, L. C., & Rizzoli, R. (2020). Pathophysiology of bone loss in aging. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 8(12), 1062–1075. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30272-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30272-7)
- 9.Patel, S., & Thakur, R. (2023). Age-related bone loss and hormonal imbalance: A clinical review. *Clinical Osteology*, 18(2), 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.clinos.2023.02.006>
- 10.Raggatt, L. J., & Partridge, N. C. (2021). Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. *Journal of Biological Chemistry*, 296, 100595. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2021.100595>
- 11.Seeman, E., & Delmas, P. D. (2021). Bone quality—The material and structural basis of bone strength and fragility. *The New England Journal of Medicine*, 385(4), 304–313. <https://doi.org/10.1056/NEJMr203534>
- 12.Smith, S. M., & Heer, M. (2020). Calcium metabolism, bone loss, and endocrine function in spaceflight. *Endocrine Reviews*, 41(2), 313–330. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnz002>
- 13.Thakor, R. (2023). Structural and functional analysis of the human skeletal system. *Journal of Medical Anatomy*, 12(3), 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2023.04.007>
- 14.Kanis, J. A. (2022). Epidemiology of osteoporosis and fragility fractures. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 36(6), 101632. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2022.101632>

15. Meyers, M. A., Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., & Seki, Y. (2021). Biological materials: Structure and mechanical properties of bone. *Progress in Materials Science*, 117, 100752. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100752>

16. NASA Biomedical. (2023). Skeletal adaptation in microgravity environments. NASA Research Bulletin. <https://doi.org/10.31224/nasa.bio.2023.118>