

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ  
БУКОВИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# МАТЕРІАЛИ

III науково-практичної інтернет-конференції



**РОЗВИТОК  
ПРИРОДНИЧИХ НАУК  
ЯК ОСНОВА НОВІТНІХ  
ДОСЯГНЕНЬ У  
МЕДИЦИНІ**

*м. Чернівці  
21 червня 2023 року*

УДК 378.147.88

Погоріла В. Г., Новікова І. М.

## ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДИНИ

*Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ**vikapogorila2005@gmail.com , novikova67irina@gmail.com*

**Анотація.** У статті проведений теоретичний аналіз фізичних основ сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату людини та їх використання, зокрема денситометрії, тензометрії. Досліджені тенденції розвитку методів, які широко використовуються в медичній практиці. Проаналізована статистична інформація щодо їх застосування в діагностиці. Показані новітні досягнення та визначені перспективи розвитку сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату людини для практичної медицини. Здійснений теоретичний аналіз та створений до нього відео супровід, який може бути використаний під час практичних онлайн та офлайн занять і в позааудиторній самостійній роботі студентів, що забезпечить формування внутрішньої мотивації та розвитку фахово орієнтованих компетентностей майбутніх лікарів.

**Ключові слова:** медична та біологічна фізика, денситометрія, тензометрія, опорно-руховий апарат людини, магнітно-резонансна томографія, комп'ютерна томографія.

**Актуальність.** Вимоги військового часу та сучасної медицини потребують якісної та швидкої діагностики різноманітних травм опорно-рухового апарату людини; лікування різних захворювань, пов'язаних зі змінами щільності кісток, м'язових захворювань, оцінки ефективності лікування та визначення фізичної форми різних верст населення. Тому актуальності набувають дослідження фізичних основ сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату людини – денситометрії, тензометрії та ін. Вони вимагають високої точності вимірювань та застосовуються в різних галузях медицини (включаючи травматологію, ортопедію, ревматологію, спортивну медицину та фізіотерапію) з метою розробки ефективного плану лікування та реабілітації, оцінки фізичного стану пацієнтів, оперативного визначення рівня рухливості суглобів та рівня щільності кісток, м'язової сили та м'язової активності тощо.

**Мета роботи.** Проаналізувати фізичні основи та здійснити теоретичний аналіз сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату, зокрема денситометрії та

тензометрії, дослідити тенденції розвитку та відокремити новітні та перспективні з них. Розробити відео супровід до навчальних занять за здійсненим теоретичним аналізом.

**Матеріали і методи.** Використаний проблемно-орієнтований аналіз інформаційних джерел. Застосовані такі методи наукових досліджень: аналіз, синтез, порівняння, узагальнення; бібліосемантичний метод для вивчення наукової літератури, статистичний для систематизації та аналізу трендів у сучасній практичній медицині.

**Результати дослідження.** Опорно-руховий апарат людини є важливою системою, що забезпечує підтримку тіла, рух та взаємодію з навколишнім середовищем. Вивчення цієї системи, зокрема за допомогою методів денситометрії та тензометрії, здійснюється з метою визначення захворювань та травм, оцінки ефективності лікування та профілактики різних захворювань. Здійснення теоретичного аналізу означеної проблеми є елементом науково-дослідної роботи студентів і буде корисним при конструюванні та опрацюванні змісту навчальних дисциплін курсу медичної і біологічної фізики, оскільки забезпечує поєднання фундаментальної та професійної підготовки майбутніх лікарів, завдяки використанню нових підходів до організації самостійної та навчально-дослідної роботи студентів [1, 2].

Аналіз наукової літератури [3; 10; 12] показав, що денситометрія – це діагностичне дослідження, яке використовують з метою вимірювання густини кісткової тканини, що використовується для діагностики остеопору та контролю за його лікуванням. Також цей метод може допомогти в діагностиці інших захворювань, оцінці ризику перелому та призначенні лікування. Обстежуються ті зони скелету, які є схильними до патологічних змін. Найчастіше, в якості об'єкта дослідження, виступають шийка стегна чи хребет, оскільки переломи і травми цих ділянок загрожують повною втратою рухової активності на довгий час, в деяких випадках – на все життя [7]. Теоретичний аналіз показав, що в медичній галузі, для вимірювання щільності різних тканин у людському організмі, використовуються різні види денситометрії, ґрунтовний аналіз яких наведено в таблиці 1.

Денситометрія є важливим інструментом для діагностики і лікування різних захворювань, пов'язаних зі змінами щільності кісток. Всі види денситометрії мають свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного методу залежить від галузі застосування та мети вимірювання.

Тензометрія (від лат. *tensus* — напружений та грец. *μετρέω* — вимірюю) — експериментальне дослідження, за допомогою якого визначають напружено-деформований стан матеріалу елементів конструкції. Метод, який заснований на масштабному перетворенні деформації поверхні об'єкту за допомогою тензорезисторів та реєструвальної апаратури або

визначенні змін інших параметрів матеріалу (наприклад, акустичних властивостей, величин подвійного променезаломлення або обертання площини поляризації світла у навантажених прозорих деталях тощо), викликаних механічним напруженням. Дія електричних тензорезисторів ґрунтується на зміні опору у відповідності до деформації, яка формується під дією навантаження [9].

Таблиця 1

**Фізичні основи сучасних видів денситометрії**

Вид денситометрії	Фізичне підґрунтя	Використання
DXA (двохенергетична рентгенівська денситометрія) – вимірювання щільності кісткової тканини за допомогою фотонів з високою енергією [7, 12].	Вимірювання проводять за допомогою двох різних рентгенівських променів, діапазон енергії яких становить відповідно 80 кеВ та 130 кеВ; чим щільніша кісткова тканина, тим менше через неї проходять рентгенівські промені.	вимірювання щільності кісткової тканини у тілі людини
КТ (комп'ютерна томографія) – нехірургічний метод візуалізації внутрішньої структури тіла [6, 7, 12].	Використовуються рентгенівські промені, які проходять через тіло пацієнта; діапазон енергії 70-140 кеВ. Доза радіації, яка використовується під час дослідження становить від 2 до 8 мЗв.	Візуалізація органів та тканин людського тіла з метою огляду та діагностики.
QUS (ультразвукова денситометрія) – вимірювання щільності тканин за допомогою височастотних звукових хвиль [7, 12].	Застосовуються ультразвукові хвилі, які генеруються п'єзоелектричними датчиками та проходять через досліджуваний матеріал, після чого зчитуються датчиком на іншому кінці матеріалу. На основі вимірянних параметрів поширення ультразвуку можна визначити густину матеріалу.	діагностика захворювань м'язів, суглобів.
РА (рентгенівська денситометрія) – вимірювання щільності тканин за допомогою рентгенівського випромінювання [7, 9, 12].	Використовуються рентгенівські промені, що проходять через кістку; діапазон енергії 20-150 кеВ. Доза радіації, яка використовується під час дослідження становить близько 0,02 мЗв.	визначення щільності кісток та діагностика захворювань кісткової системи.

*Джерело: розроблене автором за даними [6, 7, 9-12]*

Тензометрія може бути використана для визначення механічних властивостей біоматеріалів, діагностики м'язових захворювань, оцінки ефективності лікування та визначення фізичної форми спортсменів. Вимірювання сили м'язів та їхньої еластичності допомагає визначити фізичний стан тканин, діагностувати захворювання та відстежувати ефективність лікування та реабілітації [4].

У медичній галузі, для вимірювання різних параметрів опорно-рухового апарату людини, використовуються різноманітні види тензометрів. Ретельний аналіз фізичних основ сучасних видів тензометрії наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Фізичні основи сучасних видів тензометрії**

Вид тензометрії	Фізичне підґрунтя	Використання
Діафрагмові тензометри – вимірюють зміну діаметра діафрагми під час дихання для визначення об'єму легень	Закони механіки деформованого твердого тіла та теорії тонких пластин, можна вимірювати деформації або напруження від декількох до кількох тисяч мікронапружень.	Вимірювання тиску в різних точках тіла, зокрема діафрагми.
Тензометри м'язів - вимірюють силу м'язів та їх скорочення для діагностики м'язових захворювань та оцінки стану м'язової системи під час фізичних вправ	Закон мінливості електричного опору, діапазон вимірювання від 1000 до 10000 мкВ.	Діагностика м'язових захворювань та оцінка стану м'язів.
Тензометри для вимірювання ваги – вимірюють вагу тіла	Закон деформації пружини, діапазон вимірювання від декількох кг до кількох тон.	Діагностика захворювань, пов'язаних із вагою.
Тензометри для вимірювання сили стискання – вимірюють силу стискання	Закон п'єзрезистивності, діапазон вимірювання від кількох до кількох тисяч Ньютон.	Діагностика захворювань, артрит та інші захворювання суглобів та м'язів.

*Джерело: розроблене автором за даними [8]*

Тензометрія вимірює напругу, а денситометрія – щільність, зокрема кісткової тканини. Для цих методів використовуються відповідні прилади – тензомер та денситометр. Метод вимірювання для тензометрії може бути прямим (прикладання напруги до тканини та вимірювання зміщення) або непрямим (вимірювання внутрішніх сил), а для денситометрії - двофотонна абсорбційна електронна мікроскопія (DXA) або кімнатна рентгенівська абсорбціометрія (RA) [4, 5, 10, 11].

Аналіз інформаційних джерел [7, 8] показав, що основними методами досліджень опорно-рухового апарату людини є комп'ютерна томографія та ультразвукова діагностика. Сучасними та новітніми методами досліджень опорно-рухового апарату людини вважаються методи, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

**Сучасні та новітні методи досліджень опорно-рухового апарату людини**

Метод	Фізичне підґрунтя	Використання
-------	-------------------	--------------

Радіографія – це метод одержання зображення на фотоплівці частин тіла, коли їх просвічують рентгенівським, гамма-проміннями або іншим іонізуючим випромінюванням [9].	Заснована на використанні взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною або біоматеріалом.	Використовується для вивчення структури та функції кісток та суглобів, виявлення різних захворювань та патологій, таких як переломи кісток, рак та ін.; може використовуватися для контролю за ходом лікування пацієнта.
Електроміографія: вимірює електричну активність м'язів [9, 11].	Заснована на теорії, що м'язові клітини генерують електричні сигнали при скороченні.	Виявлення різних м'язових захворювань, таких як м'язова дистрофія, міастенія гравіс, парези, тремор та спазми; може бути корисним при діагностиці захворювань нервової системи, таких як полінейропатії, радикулопатії та неврити.
Динамометрія –діагностика і відновлення фізичних функцій у пацієнтів, вимірює силу м'язів та інші показники, пов'язані з фізичною силою людини [11].	Заснована на принципі, що сила, яку здатна згенерувати людина, залежить від функціонування її м'язів.	Вимірювання сили м'язів у різних частинах тіла, включаючи руки, ноги, торс і шию.
Кінезіологія – вивчає рухи та їх координацію у людини [5, 6].	Заснована на аналізі рухів та їх впливу на руховий апарат.	Використовується для оцінки фізичної рухливості пацієнта, визначення дефектів рухової системи та розробки індивідуальної програми відновлення функцій.
Лінійна томографія: дозволяє отримати пошарові зображення опорно-рухового апарату пацієнта на рентгенівській плівці [3, 9].	Відбувається безперервний рух під час зйомки в різних напрямках рентгенівської трубки, що випромінює пучок променів, та касети з плівкою щодо досліджуваного об'єкта.	Використовується для отримання зображення структур, розташованих в одній площині, на рівні певного шару без ефекту нашарування одних органів і тканин на інші, з метою точного визначення локалізації патологічного процесу, виявлення невеликих порожнин, ділянок зміненої структури.
Радіонуклідна діагностика: дозволяє дослідити весь скелет та виявити метаболічні зміни у кістках [3, 9].	Виконують шляхом внутрішньовенного введення мічених технецієм-99 <sup>m</sup> фосфатних сполук.	Дозволяє оцінити стан всього скелету одномоментно з однаковим середнім променевим навантаженням, у той час як подібне дослідження при рентгенодіагностиці потребувало б величезного променевого навантаження, проєкцій і часу проведення.

*Джерело: розроблене автором за даними [3, 5-7, 9, 11]*

Проведений теоретичний аналіз джерел [3, 6, 9, 13] показує, що широке застосування знайшли наступні методи: магнітно-резонансна томографія (МРТ) — використовується при половині всіх досліджень, комп'ютерна томографія використовується в 31% випадків, рентгенівський метод – в 10%, ультразвукова діагностика – в 9% (рис.1).



Рис. 1 Аналіз застосування найпоширеніших методів дослідження опорно-рухового апарату людини (у %)

*Джерело: розроблене автором за даними: [3, 6, 9, 13]*

Соціологічне опитування лікарів хірургів-ортопедів (AXEL Clinic м. Київ) підтверджує проведений теоретичний аналіз. Вони зазначають, що в сучасних умовах збройного конфлікту збільшилося кількість чоловіків з травмами опорно-рухового апарату, що потребує швидкої діагностики і оперативного втручання.

Перспектив набувають дослідження опорно-рухового апарату з точки зору аналізу рухів людини та дослідження динамічної взаємодії тіла з навколишнім середовищем. Наприклад, дослідження м'язової активності та взаємодії м'язів з кістками під час виконання рухів може допомогти вивчити особливості механізмів координації рухів у спорті та реабілітації після травм. Маючи якісні знання з функціонування опорно-рухового апарату людини можна дослідити вплив фізичних навантажень на скелетну систему, що може бути корисним для розробки програм тренувань та профілактики травм в спорті. Сучасні методи досліджень опорно-рухового апарату людини, зокрема денситометрія та тензометрія, значно покращили можливості оцінки його стану, але завжди є місце для поліпшення та вдосконалення. Сучасним напрямком розвитку дослідження опорно-рухового апарату людини є використання високотехнологічних інструментів, датчиків, мікросхем та комп'ютерних програм для збору, аналізу та інтеграції даних. Це дозволяє отримувати точнішу та детальнішу інформацію про стан пацієнтів та результати діагностичних досліджень, а також допомагає виключити помилки обробки інформації людиною. Інший

напрямок розвитку – це використання віртуальної реальності для візуалізації та симуляції різних фізичних умов. За допомогою таких нововведень дослідники зможуть оцінювати вплив різних чинників на опорно-руховий апарат: створювати симуляції різних фізичних вправ та спостерігати їх вплив на певні групи м'язів та кісток. Також не менш важливим напрямком є розробка нових методів та технік для діагностики та лікування різних порушень опорно-рухового апарату: Наприклад, дослідження розвитку техніки м'язової електростимуляції може призвести до винайдення нових способів лікування м'язової атрофії.

Теоретичний аналіз показав, що на сучасному етапі розвитку медицини для діагностики різних частин опорно-рухового апарату застосовують різноманітні методи досліджень, із різним фізичним підґрунтям. Так, наприклад, для діагностики голови використовують: рентгенівське дослідження – дослідження кісткових структур [2]; магнітно-резонансна ангіографія – дослідження судин (артерій, вен) [8]; магнітно-резонансна томографія – дослідження безпосередньо внутрішніх органів [8]; позитрон-емісійна томографія візуалізує та дозволяє вивчати різні процеси, такі як метаболізм, транспорт речовин, ліганд-рецепторні взаємодії, експресію генів (рис. 2) [12]. Вважаємо, що здійснений теоретичний аналіз сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату стане підґрунтям, у перспективі нашого дослідження, для проведення аналізу впливу ваги рюкзака на стан опорно-рухового апарату людини, що може бути корисним для розробки

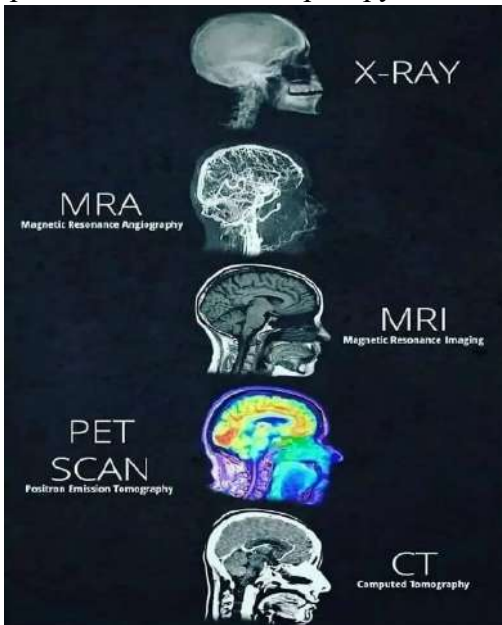


Рис. 2 Результати дослідження голови людини методами із різним фізичним підґрунтям.

*Джерело:* Інтернет ресурс

рекомендацій щодо навантажень, які можуть призвести до погіршення стану здоров'я студентів.

**Висновок.** Проаналізовано фізичні основи та здійснений теоретичний аналіз сучасних методів дослідження опорно-рухового апарату людини, зокрема денситометрії та тензометрії, досліджені тенденції розвитку та відокремлені новітні та перспективні з них. Аналіз теорії, статистичних даних та соціологічного опитування показав, що широке застосування мають наступні методи: магнітно-резонансна томографія (МРТ) — використовується при половині всіх досліджень, комп'ютерна томографія використовується в 31% випадків, рентгенівський метод – 10%, ультразвукова діагностика – 9% . Перспектив набувають

дослідження м'язової активності та взаємодії м'язів з кістками під час виконання рухів, що



може допомогти дослідити вплив фізичних навантажень на скелетну систему та буде корисним для розробки програм тренувань і реабілітації після травм та в спорті. Серед новітніх методів можна відокремити використання віртуальної реальності для візуалізації та симуляції різних фізичних умов.

Здійснений теоретичний аналіз та створений до нього відео супровід досліджуваної тематики буде корисним при конструюванні змісту навчальних дисциплін курсу медичної і біологічної фізики, заснованих на поєднанні фундаментальної та професійної підготовки майбутніх лікарів [1]; сприятиме модернізації змістової та процесуально діяльнісної частини освітнього процесу з врахуванням сучасних досягнень фізичної та медичної науки; буде сприяти інтелектуальному розвитку особистості студентів; розвитку їх наукового мислення, формування фаховоорієнтованих компетентностей майбутніх лікарів.

### Список використаних джерел:

1. Стучинська Н.В. Інтеграція фундаментальної та фахової підготовки майбутніх лікарів у процесі вивчення фізико-математичних дисциплін. Монографія. К.: Книга плюс, 2008. 409с.
2. Новікова І.М. Технологія розв'язування задач з медичної і біологічної фізики як засіб фахової підготовки майбутніх лікарів: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 (медичні та фармацевтичні дисципліни)/ Національний медичний університет імені О.О. Богомольця. Київ, 2021. 309 с
3. Каніс Я.А. Оцінка ризику перелому та його застосування до скринінгу на постменопаузальний остеопороз: короткий огляд звіту ВООЗ. *Міжнародний остеопороз*. 1994. № 4. Вип. 6. С. 368-381.
4. Моллой Дж. Баррі, Дж., Дізі, А. Реабілітаційні наслідки механічних властивостей м'язів. *Спортивна медицина-відкрита*. 2018. № 4. Вип. 1. С. 36.
5. Боханнон, Р. В., Ендрюс, А. В. Нормальна швидкість ходьби: описовий мета-аналіз. *Лікувальна фізкультура*. 2011. № 91. Вип. 9. С. 1326-1331.
6. Каніс Дж.А. Мелтон, Л.Я. 3-й, Крістіансен, К., Джонстон, К.Ч., Халтаєв, Н. Діагноз остеопороз. *Журнал досліджень кісток і мінералів*. 1994. № 9. Вип. 8. С. 1137-1141.
7. Денситометрія - що це таке, і коли потрібно проводити обстеження. URL: <https://ukrpublic.com/krasa/densitometriya-shcho-tse-take-i-koli-potribno-provoditi-obstezhennya.html#densytometriia-shcho-tse> (дата звернення: 20.02.2023).
8. Тензометрія. Ресурс: Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тензометрія> (дата звернення: 20.02.2023).
9. Американський коледж радіології. Критерії доцільності АСР. *Остеопороз і мінеральна щільність кісток*. URL: <https://acsearch.acr.org/docs/69467/Narrative/> (дата звернення: 01.03.2023).
10. Іспит/тестування щільності кісткової тканини. *Національний фонд остеопорозу*. URL: <https://www.nof.org/patients/diagnosis-information/bone-density-examtesting/> (дата звернення: 15.03.2023).
11. Тест на щільність кісткової тканини. *Клініка Майо*. URL: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/bone-density-test/about/pac-20385273> (дата звернення: 27.03.2023).
12. Шевченко, М. С., Бойко, О. В., Головач, О. М., Рибалка, Т. В., & Кравченко, Н. С. Використання денситометрії в оцінці маси тіла людини. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2018. № 2. С. 54-58. DOI: <https://doi.org/10.31838/smp.2018.2.54>
13. Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. Limitations of physical activity assessment with the use of objective measures of physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2000. № 32. Вип 9. С. 475-480. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00008>