

DOI <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-54-03>  
УДК 616.711.6-004-018.4-073.75



## Рентгенологічна характеристика поперекових хребців у пацієнтів з поперековим болем і зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки

Колесніченко В.А.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0007-4106-1730) <https://orcid.org/0009-0007-4106-1730>, e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)  
Голка Г.Г.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0002-3741-8924) <https://orcid.org/0000-0002-3741-8924>, e-mail: [gr\\_golka@ukr.net](mailto:gr_golka@ukr.net)  
Гресько І.В.<sup>3</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0007-4992-5273) <https://orcid.org/0009-0007-4992-5273>, e-mail: [gresko.i.v@gmail.com](mailto:gresko.i.v@gmail.com)  
Фадєєв О.Г.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0003-2786-3829) <https://orcid.org/0000-0003-2786-3829>, e-mail: [oh.fadieiev@knmu.edu.ua](mailto:oh.fadieiev@knmu.edu.ua)  
Олійник А.О.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0003-4465-1091) <https://orcid.org/0009-0003-4465-1091>, e-mail: [ao.oliinyk@knmu.edu.ua](mailto:ao.oliinyk@knmu.edu.ua)  
Введенський Б.П.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0006-3712-3540) <https://orcid.org/0009-0006-3712-3540>, e-mail: [ortopeddkb@gmail.com](mailto:ortopeddkb@gmail.com)  
Введенський Д.Б.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0002-0169-9592) <https://orcid.org/0000-0002-0169-9592>, e-mail: [vvedenskyd@ukr.net](mailto:vvedenskyd@ukr.net)

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Міністерства освіти і науки України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний медичний університет  
Міністерства охорони здоров'я України, Харків, Україна

<sup>3</sup>Приватне підприємство «Мережа медичних центрів «Родина», Львів, Україна

## Radiological characteristics of lumbar vertebrae in patients with low back pain and change of motor control of the muscles of the lumbopelvic region

Kolesnichenko V.A.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0007-4106-1730) <https://orcid.org/0009-0007-4106-1730>, e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)  
Holka H.H.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0002-3741-8924) <https://orcid.org/0000-0002-3741-8924>, e-mail: [gr\\_golka@ukr.net](mailto:gr_golka@ukr.net)  
Hresko I.V.<sup>3</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0007-4992-5273) <https://orcid.org/0009-0007-4992-5273>, e-mail: [gresko.i.v@gmail.com](mailto:gresko.i.v@gmail.com)  
Fadieiev O.H.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0003-2786-3829) <https://orcid.org/0000-0003-2786-3829>, e-mail: [oh.fadieiev@knmu.edu.ua](mailto:oh.fadieiev@knmu.edu.ua)  
Oliinyk A.O.<sup>2</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0003-4465-1091) <https://orcid.org/0009-0003-4465-1091>, e-mail: [ao.oliinyk@knmu.edu.ua](mailto:ao.oliinyk@knmu.edu.ua)  
Vvedensky B.P.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0009-0006-3712-3540) <https://orcid.org/0009-0006-3712-3540>, e-mail: [ortopeddkb@gmail.com](mailto:ortopeddkb@gmail.com)  
Vvedensky D.B.<sup>1</sup>, [ID](https://orcid.org/0000-0002-0169-9592) <https://orcid.org/0000-0002-0169-9592>, e-mail: [vvedenskyd@ukr.net](mailto:vvedenskyd@ukr.net)

<sup>1</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University

of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Private Enterprise «Network of Medical Centers «Rodina», Lviv, Ukraine

### Ключові слова:

асиметрія поперекових хребців, орієнтація фасеток поперекових дуговідросткових суглобів, тропізм фасеток поперекових дуговідросткових суглобів, зміна рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки.

### Для кореспонденції:

Колесніченко Віра Анатоліївна  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, кафедра хірургічних хвороб;  
майдан Свободи, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;  
e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)

© Колесніченко В.А., Голка Г.Г., Гресько І.В., Фадєєв О.Г., Олійник А.О., Введенський Б.П., Введенський Д.Б., 2025

### РЕЗЮМЕ

**Актуальність.** Асиметрія орієнтації та тропізму фасеток (ТФ) дуговідросткових суглобів поперекових сегментів розглядається як один із факторів ризику розвитку дегенеративних захворювань хребта. Однак публікацій щодо асиметрії суглобових фасеток у хворих з поперековим болем і зміною рухового стереотипу в доступній літературі не виявлено.

**Мета роботи –** порівняльне дослідження рентгеноанатомічних ознак поперекових хребців у пацієнтів з поперековим болем й порушенням рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки, та асимптомних волонтерів.

**Матеріали та методи.** Дизайн – ретроспективне контрольоване дослідження. Матеріал – протоколи рентгенологічного та МРТ обстеження 30 асимптомних волонтерів віком 20–30 років (контрольна група) та 60 хворих 20–40 років з остеохондрозом поперекового відділу хребта з помірним больовим синдромом та зміною рухового контролю (основна група). Методи: рентгенологічний з оцінкою а) величини поперечних і позиції остистих відростків L3, L4, L5 хребців; б) величини суглобових відростків, форми їх суглобових фасеток на рівнях L3–L4; L4–L5; L5–S1; рентгенометричний з визначенням: а) кутів орієнтації фасеток (ОФ) правого (α) та лівого (β) дуговідросткових суглобів; б) тропізму фасеток; статистичний.

**Результати та їх обговорення.** За даними рентгенометричних досліджень в обох групах простежувалась тенденція до сагітальзації дуговідросткових суглобів у каудальному напрямку. Величина тропізму фасеток для волонтерів і пацієнтів складала: у L3–L4 сегменті (4,0 ± 0,9) і (6,9 ± 1,1) відповідно; у L4–L5 сегменті

( $4,4 \pm 1,0$ )<sup>o</sup> і ( $7,1 \pm 1,2$ )<sup>o</sup> відповідно ( $p < 0,05$ ); у L5–S1 сегменті ( $4,1 \pm 1,1$ )<sup>o</sup> і ( $7,3 \pm 1,4$ )<sup>o</sup> відповідно ( $p < 0,05$ ).

У групі волонтерів на всіх трьох поперекових сегментах  $OF_{\text{прав}} > OF_{\text{лів}}$ , що сприяє відносно рівномірному розподілу зовнішніх навантажень між елементами сегмента. У групі пацієнтів на рівнях L3–L4, L5–S1  $OF_{\text{прав}} < OF_{\text{лів}}$ , на рівні L4–L5  $OF_{\text{прав}} > OF_{\text{лів}}$ , що, за умов достовірно частішого ТФ, може супроводжуватися незначним, але різнонаправленим зміщенням миттєвого центру обертання кожного з хребців зі збільшенням стресової дії зовнішніх сил, а також зміною часу активації правих і лівих однойменних поперекових глибоких м'язів.

**Висновки.** Порівняно з волонтерами, у пацієнтів зі зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки достовірно частіше реєструються: асиметрія поперекових відростків L4 ( $p < 0,05$ ), L5 хребців ( $p < 0,01$ ); ротація остистих відростків L3, L4 хребців (по  $p < 0,001$ ), асиметрія суглобових відростків, дисконгруентність суглобових фасеток у L3–L4 ( $p < 0,001$ ) й L4–L5 ( $p < 0,001$ ) сегментах, аномалія тропізму у L4–L5 й L5–S1 сегментах (по  $p < 0,05$ ).

#### Для цитування:

Колесніченко В.А., Голка Г.Г., Гресько І.В., Фадєєв О.Г., Олійник О.А., Введенський Б.П., Введенський Д.Б. Рентгенологічна характеристика поперекових хребців у пацієнтів з поперековим болем і зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія Медицина.* 2025. Т. 33. №3(54). С. 341–352. DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-54-03>

#### Keywords:

asymmetry of the lumbar vertebrae, facet orientation of the lumbar zygoapophyseal joints, facet tropism of the lumbar zygoapophyseal joints, changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region.

#### For correspondence:

Kolesnichenko Vira Anatolyivna  
V.N. Karazin Kharkiv National University  
of the Ministry of Education and Science  
of Ukraine, Department of Surgical  
Diseases;  
4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022;  
e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)

© Kolesnichenko V.A., Holka H.H.,  
Hresko I.V., Fadiyev O.H., Oliynyk A.O.,  
Vvedensky B.P., Vvedensky D.B., 2025

#### ABSTRACT

**Background.** Asymmetry of facets orientation and facets tropism of the lumbar zygoapophyseal joints is considered as one of the risk factors for developmental degenerative diseases of the spine. However, publications on asymmetry of articular facets in patients with low back pain and changes of motor stereotype were not found in the available literature.

**Purpose** – is a comparative study of X-ray anatomical features of the lumbar vertebrae in patients with low back pain and impaired motor control of the muscles of the lumbopelvic region and asymptomatic volunteers.

**Materials and Methods.** Design: a retrospective controlled study. Material: radiologic and MRI protocols of 30 asymptomatic volunteers aged 20–30 years (control group) and 60 patients aged 20–40 years with lumbar osteochondrosis and moderate pain syndrome and changes in motor control (main group). Methods: radiographic with assessment of: a) the size of the transverse processes and position of the spinous processes one of the L3, L4, L5 vertebrae; b) the size of the articular processes, the shape of their articular facets at the levels of L3–L4; L4–L5; L5–S1; radiometric with determination of: a) the orientation angles of the facets of the right ( $\alpha$ ) and left ( $\beta$ ) zygoapophyseal joints; b) facet tropism; statistical.

**Results.** According to the radiometric studies, a tendency towards sagittalization of the zygoapophyseal joints in the caudal direction was observed in both groups. The value of facet tropism for volunteers and patients was: in L3–L4 segment: ( $4,0 \pm 0,9$ )<sup>o</sup> and ( $6,9 \pm 1,1$ )<sup>o</sup>, respectively; in L4–L5 ( $4,4 \pm 1,0$ )<sup>o</sup> and ( $7,1 \pm 1,2$ )<sup>o</sup>, respectively ( $p < 0,05$ ); in L5–S1 segment ( $4,1 \pm 1,1$ )<sup>o</sup> and ( $7,3 \pm 1,4$ )<sup>o</sup>, respectively ( $p < 0,05$ ).

In the volunteer group, on all three lumbar segments  $FO_{\text{right}} > FO_{\text{left}}$ , which contributes to a relatively uniform distribution of external loads between the elements of the segment. In the patient group, at the levels L3–L4 and L5–S1  $FO_{\text{right}} < FO_{\text{left}}$ , on the level L4–L5  $FO_{\text{right}} > FO_{\text{left}}$ , which, under the condition of reliably more frequent FT, can be accompanied by a slight but multidirectional shift of the instantaneous center of rotation of each of the vertebrae with an increase in the stress action of external forces constant for the spinal column, as well as a change in the activation time of the right and left eponymous deep muscles of the lumbar spine.

**Conclusions.** Compared with volunteers, patients with changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region significantly more often have: asymmetry of the transverse processes of L4 ( $p < 0,05$ ), L5 vertebrae ( $p < 0,01$ ); rotation of the spinous processes of L3, L4 vertebrae ( $p < 0,001$ ), asymmetry of the articular processes, incongruence of the articular facets in L3–L4 ( $p < 0,001$ ) and L4–L5 ( $p < 0,001$ ) segments, tropism anomaly in the L5–S1 segment.

#### For citation:

Kolesnichenko VA, Holka HH, Hresko IV, Fadiyev OH, Oliynyk AO, Vvedensky BP, Vvedensky DB. Radiological characteristics of lumbar vertebrae in patients with low back pain and change of motor control of the muscles of the lumbopelvic region. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine.* 2025.;3(54):341–352. DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-54-03>

## ВСТУП

Рентгенологічні ознаки поперекових хребців при різних варіантах дегенеративних захворювань хребта характеризуються збільшенням кута орієнтації суглобових фасеток (ОФ) відносно фронтальної площини та аномалією тропізму (асиметрією кута орієнтації) фасеток парних (правого й лівого) дуговідросткових суглобів. Така рентгенологічна особливість поперекових хребців зустрічається достовірно частіше при хронічному больовому синдромі остеохондрозу хребта [1, 2], спондилоартрози [3], грижах міжхребцевих дисків [4–7], дегенеративному нижньопоперековому спондилітезі [8], центральному [9] та форамінальному стенозі хребетного каналу [10].

Дуговідросткові (зигопофізеальні) суглоби в інтактному поперековому сегменті є стабілізаторами при рухах у сагітальній площині (згинання/розгинання), торсії, протидіють передньому зсуву хребця [11]. У разі аномалії тропізму суглобових фасеток (ТФ) під дією змодельованої сили зсуву у передньо-задньому напрямку при розгинанні та торсії відбувається асиметричне збільшення внутрішньодискового тиску та ротації хребця, які зростають у напрямі більш вертикально орієнтованої фасетки [12]; при контакті фасеток зростають сили стиснення [12, 13]. В результаті сегмент стає більш вразливим до дії сили переднього зсуву та зовнішніх осьових навантажень [12–14]. Зазначені біомеханічні ефекти зростають у разі сагіталізації суглобових фасеток (ОФ > 60°) [12]. Враховуючи постійну дію зовнішніх навантажень на хребет, а також той факт, що поєднання розгинання з торсією є одним з найбільших механічних стресів для поперекових сегментів [14], стає зрозумілою участь асиметрії та сагіталізації суглобових фасеток у дегенеративних змінах кістково-хрящових елементів хребтового сегмента [15].

Ми вважаємо, що при асиметричних навантаженнях хребця відбувається функціональна зміна довжини глибоких м'язів поперекового відділу хребта, що може супроводжуватися асинхронною активацією однієї з парних правих й лівих м'язових волокон зі зміною м'язового рухового контролю.

**Мета роботи** – порівняльне дослідження рентгеноанатомічних ознак поперекових хребців у пацієнтів з порушеннями рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки та асимптомних волонтерів, з врахуванням факту, що місцями початку й прикріплення глибоких м'язів поперекового відділу хребта є остисті, поперечні, мамілярні відростки поперекових хребців.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

*Дизайн дослідження* – ретроспективне контрольоване дослідження.

*Матеріал дослідження* – протоколи рентгенологічного обстеження 30 асимптомних волонтерів віком 20–30 років (середній вік  $(22,4 \pm 2,6)$  років) та 60 хворих 20–40 років ( $(33,4 \pm 4,8)$  років) з остеохондрозом поперекового відділу хребта з помірним больовим синдромом та зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки. Усі обстежені були чоловічої статі. Контрольна група волонтерів містила 30 співробітників

## INTRODUCTION

Radiographic signs of lumbar vertebrae in various types of the spine degenerative diseases are characterized by an increase in the angle articular facets orientation (FO) relative to the frontal plane and an anomaly of the facet tropism (asymmetry of the angle orientation) of paired (right and left) articular processes. Such a radiographic feature of the lumbar vertebrae occurs significantly more often in chronic pain syndrome of the spine osteochondrosis [1, 2], spondyloarthrosis [3], intervertebral discs herniated [4–7], degenerative lower lumbar spondylolisthesis [8], central [9] and foraminal stenosis of the spinal canal [10].

The zygoapophyseal joints in the intact lumbar segment act as stabilizers during movements in the sagittal plane (flexion/extension), torsion, counteracting the anterior displacement of the vertebra [11]. In the case of anomalies of the facet tropism, during extension and torsion, an asymmetric increase in intradiscal pressure and rotation of the vertebra occurs, which grow in the direction of a more vertically oriented facet [12]; when the facets contact, compression forces increase [12, 13]. As a result, the segment becomes more vulnerable to the action of anterior shear forces and external axial loads [12–14]. These biomechanical effects increase with sagittalization of the articular facets (FO > 60°) [12]. Considering the constant action of external loads on the spine, as well as the fact that the combination of extension with torsion is one of the greatest mechanical stresses for lumbar segments [14], the participation of asymmetry and sagittalization of the articular facets in degenerative changes in the osteochondral elements becomes clear [15].

We hypothesize that asymmetrical loads on the vertebra result in a functional change in the length of the deep muscles of the lumbar spine, which may be accompanied by asynchronous activation of the same left and right muscle fibers with a changes in muscle motor control.

**Objective** – to conduct a comparative investigation of the X-ray anatomical features of the lumbar vertebrae in patients with impaired motor control of the lumbopelvic muscles and in asymptomatic volunteers, taking into account the fact that the spinous, transverse, and mamillary processes of the lumbar vertebrae serve as the origin and attachment sites of the deep muscles of the lumbar spine.

## MATERIAL AND METHODS

*The study design* is a retrospective controlled study.

*The material of the study* was the protocols of radiologic examination of 30 asymptomatic volunteers aged by 20–30 years (average age  $22.4 \pm 2.6$  years) and 60 patients 20–40 years ( $33.4 \pm 4.8$  years) with osteochondrosis of the lumbar spine with moderate pain syndrome and changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region. All examined subjects were male. The group of asymptomatic volunteers (control group) consisted of 20 employees of the Municipal non-profit

Комунального некомерційного підприємства «Міська лікарня швидкої та невідкладної медичної допомоги ім. проф. О. І. Мещанінова (МЛШНМД) Харківської міської ради, у яких в анамнезі не було епізодів поперекового болю. Основну групу склали хворі, які спостерігалися у МЛШНМД (n = 20) та у медичному центрі «Інтерсоно» у Львові (n = 40).

Критерії включення у дослідження: волонтери – відсутність скарг на біль у хребті чи суглобах, відсутність неврологічних захворювань; хворі – наявність поперекового болю тривалістю до 12 місяців, відсутність виражених міотонічних реакцій м'язів попереково-тазової ділянки зі значним обмеженням рухливості поперекового відділу хребта; відсутність відображеного (у нижні кінцівки) болю; відсутність неврологічних рухових розладів з парезами нижніх кінцівок. Критерії виключення з дослідження для волонтерів та пацієнтів: операції / переломи хребта та кісток нижніх кінцівок в анамнезі, наявність спондилолітезу.

### Методи дослідження

На оглядових поперекових спондилограмах у передньозадній та бічній проекціях й аксіальних сканах комп'ютерних/магнітно-резонансних томограм (КТ/МРТ) проводили порівняльну якісну оцінку: а) величини правого й лівого поперекових відростків, позиції остистих відростків L3, L4, L5 хребців; б) величини правого та лівого верхнього та нижнього суглобових відростків, відповідності розмірів та форми їх суглобових фасеток на рівнях L3–L4; L4–L5; L5–S1. Оцінювалися рентгеноанатомічні особливості саме суглобових відростків, виходячи з того факту, що мамілярні відростки розташовані на задній поверхні верхнього суглобового відростка хребця.

Рентгенометричні дослідження виконували на аксіальних КТ/МРТ сканах цих же хребців. Орієнтація фасеток правого та лівого дуговідросткових суглобів визначалася шляхом вимірювання кутів  $\alpha$  та  $\beta$  відповідно між перетином прямої, що проходить через центр тіла хребця (4) та остистий відросток (9), з прямою, що проходить вздовж нижньої фасетки дуговідросткового суглоба праворуч (5; 7) та зліва (6; 8) – рис. 1. Орієнтація фасетки вважалася сагітальною при куті  $\geq 50^\circ$ . Наявність аномалії тропізму фасеток реєструвалася за умов різниці між кутами  $\alpha$  та  $\beta \geq 10^\circ$ . Така найменша величина ТФ мінімізувала вплив помилки вимірювання на результат дослідження.

При статистичних дослідженнях використовували методи описової статистики. Відмінності між групами оцінювали за t-критерієм Стьюдента з рівнем значущості  $p < 0,05$ . Статистичні дослідження було проведено з використанням SPSS V20.

Дизайн дослідження схвалено на засіданні Комісії з біоетики Харківського національного медичного університету (протокол № 7 від 21 січня 2021 р.). Дослідження проводилося відповідно до стандартів біоетики Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи для наукових і медичних досліджень, а також Конвенції Ради Європи про Права людини та біомедицину. Кожен учасник дослідження надав письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

enterprise «City Clinical Hospital of Emergency and Acute Medical Care named after Prof. O.I. Meshchaninov» (CCHEAMC) of the Kharkiv City Council, who had no episodes of low back pain in the history. The group of patients (main group) consisted of patients who were observed in CCHEAMC (n = 20) and in the medical center «Intersono» in Lviv (n = 40).

Study inclusion criteria: volunteers (control group) – no complaints of pain in the spine or joints, no neurological diseases; in patients (main group) – the presence of low back pain lasting up to 12 months, the absence of pronounced myotonic reactions of the lumbar-pelvic region muscles with a significant limitation of the lumbar spine mobility; the absence of referred (in the lower limb) pain; absence of neurological movement disorders with paresis of the lower extremities. The exclusion criteria for volunteers and patients from the study were fractures of the spine and bones of the lower extremities or surgeries on the spine and lower extremities in history, the presence of spondylolisthesis.

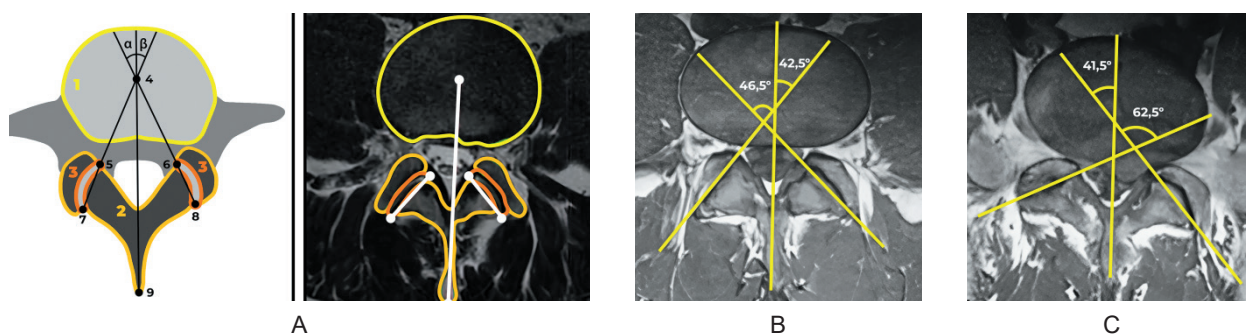
### Research methods

On lumbar spondylograms in the anteroposterior and lateral projections and axial scans of computer tomograms/magnetic resonance images (CT/MRI) a comparative qualitative assessment was made of: a) the sizes of the right and left transverse processes, the positions of the spinous processes of the L3, L4, L5 vertebrae; b) the sizes of the right and left upper and lower articular processes, the correspondence of the sizes and shapes of their articular facets at the levels of L3–L4; L4–L5; L5–S1. The X-ray anatomical features of the articular processes were assessed based on the fact that the mammillary processes are located on the posterior surface of the upper articular process of the vertebra.

Radiometric studies were performed on axial CT/MRI scans of the same vertebrae. The orientation of the facets of the right and left zygoapophyseal joints was determined by measuring the angles  $\alpha$  and  $\beta$ , respectively, between the straight line passing through the center of the vertebral body (4) and the spinous process (9), with the straight line passing along the lower facet of the zygoapophyseal joint on the right (5; 7) and left (6; 8) – Fig. 1, A. The orientation of the facet was considered sagittal at an angle  $\geq 50^\circ$ . The presence of a facet tropism anomaly was recorded at a difference between the angles  $\alpha$  and  $\beta \geq 10^\circ$ . This value of FT minimized the effect of measurement error on the study result.

When statistical analyzing, the median was determined with a value of the standard deviation, t-test was evaluated by the method of Student. The level of significance was  $p < 0.05$ . Statistical studies were conducted using SPSS V20.

The study design was approved at a meeting of the Bioethics Commission of the Kharkov National Medical University (protocol No. 7 of January 21, 2021). The study was conducted in accordance with the bioethical standards of the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Scientific and Medical Research and the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine. Each study participant provided written informed consent to participate in the study.



**Рис. 1. А:** Схема рентгенометрії кута орієнтації фасеток дуговідросткових суглобів на аксіальному скані комп'ютерної томограми: 1 – тіло хребця; 2 – дуга хребця; 3 – верхня фасетка дуговідросткового суглоба; 4 – центр тіла хребця; 4, 5, 7 – відрізок прямої для виміру кута орієнтації лівого дуговідросткового суглоба (ЛвДС); 4, 6, 8 – відрізок прямої для виміру кута орієнтації правого дуговідросткового суглоба (ПрДС); 9 – остистий відросток;  $\alpha$  – кут орієнтації ПрДС;  $\beta$  – кут орієнтації ЛвДС; **В** – МРТ L4 хребця: різниця між кутами орієнтації суглобових фасеток правого й лівого дуговідросткових суглобів ( $4^\circ$ ) в межах норми; **С** – МРТ L5 хребця: тропізм фасеток правого й лівого дуговідросткових суглобів ( $21^\circ$ )

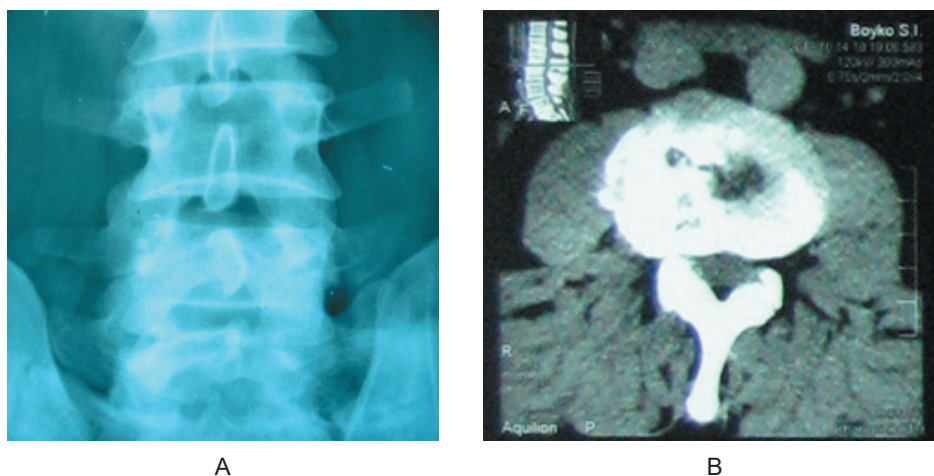
**Fig. 1. A:** Scheme of roentgenometry of the zygoapophyseal joints facet orientation on the axial scan of a computed tomogram: 1 – vertebral body; 2 – vertebral arch; 3 – superior facet of the zygoapophyseal joint; 4 – center of the vertebral body; 4, 5, 7 – a line segment for measuring the orientation angle of the left facet of the zygoapophyseal joint (LFJ); 4, 6, 8 – the line segment for measuring the orientation angle of the right facet of the zygoapophyseal joint (RFJ); 9 – spinous process;  $\alpha$  – the RFJ orientation angle;  $\beta$  – the LFJ orientation angle; **B** – MRI of the L4 vertebra: the difference between the orientation angles of the articular facets of the right and left zygoapophyseal joints ( $4^\circ$ ) is within normal limits; **C** – MRI of the L5 vertebra: tropism of the facets of the right and left zygoapophyseal joints ( $21^\circ$ )

## РЕЗУЛЬТАТИ

Аналіз результатів оцінки рентгеноанатомії нижньопоперекових хребців у досліджуваних групах показав, що у пацієнтів з порушенням рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки порівняно з асимптомними волонтерами достовірно частіше реєструється асиметрія величини правого й лівого поперекових відростків L4 ( $p < 0,05$ ) та L5 хребців ( $p < 0,01$ ) та ротація остистих відростків L3 та L4 хребців (по  $p < 0,001$ ) – таблиця 1, рисунок 2.

## RESULTS

The analysis of the results of the X-ray anatomy evaluation of the lower lumbar vertebrae in the studied groups showed that in patients with impaired motor control of the muscles of the lumbopelvic region, compared to asymptomatic volunteers, asymmetry in the size of the right and left transverse processes of the L4 ( $p < 0.05$ ) and L5 ( $p < 0.01$ ) vertebrae, as well as rotation of the spinous processes of the L3 and L4 vertebrae (according to  $p < 0.001$ ) is significantly more often recorded – Table 1, Fig. 2, A, B.



**Рис. 2. – А** – поперекова спондилограма в передньозадній проекції пацієнта М., 28 років: сакралізація L5 хребця, асиметрія величини правого й лівого поперекових відростків L3 – L5 хребців, ротація остистого відростка L4 хребця; **В** – КТ L4 хребця пацієнта С., 32 роки: асиметрія величини правого й лівого суглобових відростків, дисконгруентність суглобових фасеток правого і лівого дуговідросткових суглобів, ротація остистого відростка

**Fig. 2. – A** – lumbar spondylogram in the anteroposterior projection of patient M., 28 years old: L5 vertebra sacralization, asymmetry in the size of the right and left transverse processes of the L3 – L5 vertebrae, rotation of the spinous process of the L4 vertebra; **B** – CT of the L4 vertebra of patient S., 32 years old: asymmetry in the size of the right and left articular processes, incongruence of the articular facets of the right and left zygoapophyseal joints, rotation of the spinous process

**Таблиця 1.** Частота рентгеноанатомічних ознак асиметрії поперекових хребців  
**Table 1.** Frequency of X-ray anatomical signs of lumbar vertebral asymmetry

Ознака / Sign	Волонтери / Volunteers			Пацієнти / Patients		
	L3	L4	L5	L3	L4	L5
Поперекові хребці Lumbar vertebrae						
Асиметрія розміру правого і лівого поперечних відростків Asymmetry of the of the right and left transverse processes size	5; 16,7%	5; 16,7%	7; 23,3%	19; 31,7%	24; 40,0% *	42; 70,0% **
Ротація остистих відростків Rotation of the spinous processes	-	3; 10,0%	10; 33,3%	36; 60,0% ***	42; 70,0% ***	22; 36,7%
Поперекові сегменти Lumbar segments	L3–L4	L4–L5	L5–S1	L3–L4	L4–L5	L5–S1
Асиметрія розміру суглобових відростків Asymmetry of the articular processes size	7; 23,3%	9; 30,0%	7; 23,3%	49; 81,7% ***	53; 88,3% ***	32; 53,3% *
Дисконгруентність фасеток дуговідросткових суглобів Discongruence of the facet of the zygoapophyseal joints	6; 20,0%	8; 26,7%	7; 23,3%	46; 76,7% ***	53; 88,3% ***	30; 50,0% *
Аномалія тропізму суглобових фасеток Anomaly of articular facet tropism	3; 10,0%	4; 13,3%	5; 16,7%	25; 41,7% ***	27; 45,0% ***	25; 41,7% ,**

**Примітка:** \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

**Note:** \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

За результатами вивчення рентгеноанатомії дуговідросткових суглобів нижньопоперекового відділу хребта встановлено достовірне превалювання асиметрії розміру суглобових відростків, дисконгруентності та аномалії тропізму фасеток на всіх рівнях у групі пацієнтів зі зміною рухового контролю порівняно з групою волонтерів. Достовірна різниця між вищепереліченими рентгенологічними ознаками найбільше проявилася у сегментах L3–L4 та L4–L5 (по  $p < 0,001$  для кожної з ознак на кожному рівні) (див. табл. 1, рис. 2).

Рентгенометричні дослідження кута орієнтації фасеток виявили значну варіативність позиції як правих, так і лівих дуговідросткових суглобів у кожному з нижньопоперекових сегментів у кожній з досліджуваних груп. В той же час середні кути ТФ у групі волонтерів виявилися суттєво меншими на рівні L3–L4 та достовірно меншими у сегментах L4–L5 й L5–S1 (по  $p < 0,05$ ) порівняно з такими у групі пацієнтів зі зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки (табл. 2, рис. 1).

The results of the study of the X-ray anatomy of the zygoapophyseal joints at three lower lumbar levels revealed a reliable prevalence of asymmetry in the size of the articular processes, facet incongruence and facet tropism at all levels in the group of patients with changes in the motor control of the muscles of the lumbopelvic region. Reliable differences between the above-mentioned X-ray signs were most pronounced in the L3–L4 and L4–L5 segments ( $p < 0.001$  for each of the signs at each level) – Table 1; Fig. 2, B.

Radiometric studies of the angle facet orientation revealed significant variability in the position of both the right and left zygoapophyseal joints in each of the lower lumbar segments in each of the study groups. At the same time, the average FT angles in the volunteer group were significantly smaller at the L3–L4 level and reliably smaller in the L4–L5 and L5–S1 segments ( $p < 0.05$ ) compared to those in the group of patients with changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region (Table 2).

**Таблиця 2.** Статистичні показники орієнтації (ОФ) та тропізму фасеток (ТФ) дуговідросткових суглобів у асимптомних волонтерів та пацієнтів зі зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки  
**Table 2.** Statistical indices of facet orientation (FO) and facet tropism (FT) of zygoapophyseal joints in asymptomatic volunteers and patients with changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region

Ознака / Sign	Волонтери / Volunteers	Пацієнти / Patients
	m ± SD (min; max)	
L3–L4		
ОФ прав., град. / FO right, degrees	37,6 ± 9,0 (21; 72)	40,7 ± 7,3 (19; 83)
ОФ лів., град. / FO left, degrees	39,4 ± 9,2 (19; 67)	41,2 ± 8,1 (17; 79)
ТФ, град. / FT, degrees	4,0 ± 0,9 (0; 11)	6,9 ± 1,1 (0; 19)
L4–L5		
ОФ прав., град. / FO right, degrees	41,8 ± 8,8 (17; 75)	45,2 ± 9,2 (11; 84)
ОФ лів., град. / FO left, degrees	42,4 ± 9,8 (15; 82)	42,7 ± 8,9 (13; 80)
ТФ, град. / FT, degrees	4,4 ± 1,0 (0; 11)	7,1 ± 1,2 (2; 21) *
L5–S1		
ОФ прав., град. / FO right, degrees	42,8 ± 9,1 (19; 77)	47,3 ± 10,0 (17; 85)
ОФ лів., град. / FO left, degrees	44,3 ± 8,4 (19; 80)	48,4 ± 9,6 (14; 82)
ТФ, град. / FT, degrees	4,1 ± 1,1 (4; 13)	7,3 ± 1,4 (6; 20) *

**Примітка:** \* –  $p < 0,05$ .

**Note:** \* –  $p < 0,05$ .

У групі волонтерів впродовж усіх трьох нижньопопереккових сегментів середня величина кута орієнтації фасеток лівих дуговідросткових суглобів незначно перевищувала аналогічний показник праворуч (див. табл. 2). Така однонаправленість орієнтації суглобових фасеток є біомеханічно сприятливою як з точки зору розподілу навантажень на елементи хребтового сегмента, так і з урахуванням симетричних параметрів активації глибокої мускулатури поперекового відділу хребта.

Інша картина спостерігалася у групі хворих: на рівнях L3–L4 й L5–S1 середня величина ОФ зліва була дещо більшою порівняно з ОФ праворуч. У сегменті L4–L5, навпаки, середня величина кута орієнтації правого дуговідросткового суглоба виявилася вищою за таку ж зліва (див. табл. 2). У такій ситуації, за умов достовірно частішої аномалії тропізму суглобових фасеток, відбувається незначне, однак різнонаправлене зміщення миттєвого центру обертання кожного з нижньопопереккових хребців, що може супроводжуватися збільшенням стресової дії зовнішніх сил, постійних для хребетного стовпа, а також зміною часу активації правих і лівих однойменних глибоких м'язів поперекового відділу хребта.

## ОБГОВОРЕННЯ

Досліджень рентгеноанатомії нижньопопереккових хребців у пацієнтів з хронічним поперековим болем та зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки в доступній літературі не виявлено. В той же час достатньо широко представлені публікації, зокрема оглядові, що стосуються синдрому Бертолотті – взаємозв'язку поперекового болю та вродженої гіперплазії одного або обох поперечних відростків L5 хребця з формуванням одно-/двобічних неоартрозів або синостозів з крилами крижів або клубової кістки [16–18]. Зміна біомеханіки люмбосакрального сегмента з обмеженням або втратою рухової функції призводить до компенсаторної гіпермобільності на вищезгаданих поперекових рівнях, прискореного розвитку дегенеративних змін у тканинних нижньопопереккових сегментів, крижово-клубових суглобів з клінічною маніфестацією нестабільності, дегенеративного спондилостезу, спондилоартрозу, центрального або форамінального стенозу, артрозу крижово-клубових суглобів [19–22]. У випадках формування поперечно-крижових або поперечно-клубових неоартрозів клінічний перебіг може ускладнюватися наявністю радикулопатії, яка потребує консервативного лікування, а в деяких випадках – хірургічного втручання [18, 23, 24]. У разі сакралізації L5 хребця на рівні L5–S1 сегмента достовірно частіше реєструється аномалія тропізму дуговідросткових суглобів ( $p < 0,001$ ) з більш горизонтальною орієнтацією фасеток ( $p < 0,05$ ) [25]. На нашому матеріалі сакралізація L5 хребця спостерігалася у 4 (7%) пацієнтів, у всіх випадках – двобічна з асиметричною величиною поперечних відростків (рис. 2) з клінічною симптоматикою періодичного помірного поперекового болю.

Середні величини кутів орієнтації суглобових фасеток у обох досліджуваних групах незначно зростали у каудальному напрямку. Іншими словами, на нашому матеріалі простежувалась тенденція до сагітталізації

In the volunteer group, the average value of the angle orientation of the facets of the left zygoapophyseal joints in all three lower lumbar segments slightly exceeded the same indicator on the right (Table 2). Such unidirectional orientation of the articular facets is biomechanically favorable both from the point of view of the distribution of loads on the elements of the vertebral segment and taking into account the symmetrical parameters of activation of the deep muscles of the lumbar spine.

Another picture was observed in the group of patients: at the levels L3–L4 and L5–S1, the average value of the FO on the left was slightly greater than that on the right. In the L4–L5 segment, on the contrary, the average value of the angle orientation of the right zygoapophyseal joint was higher than that on the left (Table 2). In such a situation, under conditions of a more reliable anomaly of the facet tropism, there is an insignificant, but multidirectional shift of the instantaneous center of rotation of each of the lower lumbar vertebrae, which can be accompanied by an increase in the stress action of external forces constant for the spinal column, as well as a change in the activation time of the right and left eponymous deep muscles of the lumbar spine.

## DISCUSSION

No studies of the X-ray anatomy of the lower lumbar vertebrae in patients with chronic lumbar pain and changes in the motor control of the muscles of the lumbopelvic region were found in the available literature. At the same time, there are quite a wide range of publications, including reviews, concerning Bertolotti syndrome – the relationship between low back pain and congenital hyperplasia of one or both transverse processes of the L5 vertebra with the formation of uni-/bilateral neoarthrosis or synostosis with the wings of the sacrum or ilium [16–18]. Changes in the biomechanics of the lumbosacral segment with limitation or loss of motor function lead to compensatory hypermobility at higher lumbar levels, accelerated developmental of degenerative changes in the tissues of the lower lumbar segments, sacroiliac joints with clinical manifestation of instability, degenerative spondylolisthesis, spondyloarthrosis, central or foraminal stenosis, arthrosis of the sacroiliac joints [19–22]. In cases of transversosacral or transversoiliac neoarthrosis, the clinical course may be complicated by the presence of radiculalgia, which requires conservative treatment, and in some cases, surgical intervention [18, 23, 24]. With sacralization of the L5 vertebra at the level of the L5–S1 segment, an anomaly of the tropism of the zygoapophyseal joints ( $p < 0.001$ ) with a more horizontal orientation of the facets ( $p < 0.05$ ) is significantly more often recorded [25]. In our material, sacralization of the L5 vertebra was observed in 4 (7%) patients, in all cases bilateral with an asymmetrical size of the transverse processes (Fig. 2, A) with clinical symptoms of periodic moderate low back pain.

The average values of the angle orientation of the articular facets in both study groups increased slightly in the caudal direction. In other words, our material showed a tendency toward sagittalization of the zygoapophyseal joints toward the basic lumbosacral spine. Identical results are also reported in the literature [11, 22, 26].

дуговідросткових суглобів у напрямку до базового люмбосакрального відділу хребта. Ідентичні результати наводяться і в літературі [11, 22, 26].

Розташування дуговідросткових суглобів у поперековому відділі хребта може варіювати на кожному рівні. Суглобові фасетки орієнтовані на 82–86° відносно аксіальної площини і на 15–70° відносно сагітальної [27]. У сегменті L1–L2 кут між суглобовими поверхнями верхніх суглобових відростків складає 30°, тоді як на дистальніших рівнях L4–S1 розподіл величин даного кута досягає 30–90° [28]. Сагітальна орієнтація фасеток на нижньопоперекових рівнях супроводжується зменшенням жорсткості суміжного міжхребцевого диска до ротаційних навантажень [29–31].

У нормі аномалія тропізму суглобових фасеток зустрічається з частотою 22–48% [32]. Величина порогової клінічно значущої аномалії тропізму фасеток дуговідросткових суглобів поперекового відділу хребта варіює в досить широких межах від 5° до 10° [11, 33, 34]. Окремі автори ранжують ТФ: 0 ступінь – кут ТФ ≤ 6°; 1 ступінь – від 7° до 15°; 2 ступінь ≥ 16° [6]. Біомеханічні дослідження з математичним моделюванням на тривимірній нелінійній моделі поперекових сегментів з L2–L3 по L5–S1 показали, що за умов аномалії тропізму зовнішні стресові сили, що діють на міжхребцевий диск, концентруються в ділянці, яка є іпсилатеральною до фасетки з більшою сагітальною орієнтацією [35]. Наслідком такого біомеханічного стану поперекового сегмента є збільшення сили передньозаднього зсуву тіла хребця при його ротації [36].

## ВИСНОВКИ

У пацієнтів з поперековим болем і зміною рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки достовірно частіше реєструється асиметрія величини правого й лівого поперечних відростків L4 ( $p < 0,05$ ) та L5 хребців ( $p < 0,01$ ) та ротація остистих відростків L3 та L4 хребців (по  $p < 0,001$ ) порівняно з асимптомними волонтерами.

Встановлено достовірне превалювання асиметрії розміру суглобових відростків, дисконгруентності та аномалії тропізму фасеток дуговідросткових суглобів у групі пацієнтів порівняно з групою волонтерів, найбільше виражене у сегментах L3–L4 й L4–L5 (по  $p < 0,001$  для кожної з ознак на кожному рівні).

Величини середніх кутів ТФ у групі волонтерів виявилися суттєво меншими на рівні L3–L4 та достовірно меншими у сегментах L4–L5 й L5–S1 (по  $p < 0,05$ ) порівняно з такими у групі пацієнтів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kowlagi N., Kemppainen A., Panfilov E., McSweeney T., Saarakkala S., Nevalainen M., Niinimäki J., Karppinen J., Tiulpin A. Semiautomatic assessment of facet tropism from lumbar spine MRI using deep learning: a Northern Finland Birth Cohort Study. *Spine (Philadelphia, Pa. 1976)*. 2024. Vol. 49, № 9. P. 630–639. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004909>
2. Yang M., Wang N., Xu X., Zhang Y., Xu G., Chang Y., Li Z. Facet joint parameters which may act as risk factors for chronic low back pain. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2020. Vol. 15, № 1. P. 185. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01706-6>
3. Cui J.H., Kim Y.C., Lee K., Park G.T., Kim K.T., Kim S.M. Relationship between facet joint tropism and degeneration of facet joints and intervertebral discs based on a histological study. *Journal*

The location of the facet joints in the lumbar spine may vary at each level. The articular facets are oriented at 82–86° relative to the axial plane and at 15–70° relative to the sagittal plane [27]. In the L1–L2 segment, the angle between the articular surfaces of the superior articular processes is 30°, while at more distal levels L4–S1, the distribution of this angle reaches 30–90° [28]. Sagittalization of the articular facets at the lower lumbar level is accompanied by a decrease in the rigidity of the adjacent intervertebral disc to rotational loads [29–31].

Normally, the anomaly of the facet tropism occurs with a frequency of 22–48% [32]. The value of the threshold clinically significant anomaly of the facet tropism of the lumbar spine varies within a fairly wide range from 5° to 10° [11, 33, 34]. Some authors rank the FT: grade 0 – TF angle ≤ 6°; grade 1 – from 7° to 15°; grade 2 ≥ 16° [6].

Biomechanical studies with mathematical modeling on a three-dimensional nonlinear model of the lumbar segments from L2–L3 to L5–S1 have shown that in the case of facet tropism anomaly, external stress forces acting on the intervertebral disc are concentrated in the area that is ipsilateral to the facet with a larger sagittal one [35]. The consequence of such a biomechanical state of the lumbar segment is an increase in the force of anteroposterior displacement of the vertebral body during its rotation [36].

## CONCLUSIONS

In patients with low back pain and changes in motor control of the muscles of the lumbopelvic region, asymmetry in the size of the right and left transverse processes of the L4 ( $p < 0,05$ ) and L5 vertebrae ( $p < 0,01$ ) and rotation of the spinous processes of the L3 and L4 vertebrae ( $p < 0,05$ ) are significantly more often recorded compared to asymptomatic volunteers.

A significant prevalence of asymmetry in the size of the articular processes, incongruency and anomaly of the facet tropism of the zygoapophyseal joints was established in the group of patients compared to the group of volunteers, most pronounced in the L3–L4 and L4–L5 segments ( $p < 0,001$  for each of the signs).

The values of the average FT angles in the volunteer group were smaller at the L3–L4 level and significantly smaller in the L4–L5 and L5–S1 segments ( $p < 0,05$ ) compared to those in the patients group.

## REFERENCES

1. Kowlagi N., Kemppainen A., Panfilov E., McSweeney T., Saarakkala S., Nevalainen M., et al. Semiautomatic assessment of facet tropism from lumbar spine MRI using deep learning: a Northern Finland Birth Cohort Study. *Spine (Philadelphia, Pa. 1976)*. 2024;49(9):630–39. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004909>
2. Yang M., Wang N., Xu X., Zhang Y., Xu G., Chang Y., et al. Facet joint parameters which may act as risk factors for chronic low back pain. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2020;15(1):185. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01706-6>
3. Cui JH, Kim YC, Lee K, Park GT, Kim KT, Kim SM. Relationship between facet joint tropism and degeneration of facet joints and intervertebral discs based on a histological

- of Orthopaedics. 2018. Vol. 16, № 2. P. 123–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.12.008>
4. Lee J.Y., Lee H.I., Lee S.H., Kim N.H. Mechanical influence of facet tropism in patients with chronic discogenic pain disorder. *Bone & Joint Research*. 2024. Vol. 13, № 9. P. 452–461. DOI: <https://doi.org/10.1302/2046-3758.139.BJR-2023-0363.R1>
  5. Araç D., Yüksek M.E., Karatas F., Arslan Karagöz G., Bozkurt H., Sertdemir M., İzci E.K., Kaya B., Keskin F. The association between facet joint tropism and lumbar disc herniation. *Middle Black Sea Journal of Health Science*. 2024. Vol. 10, № 4. P. 331–340. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2612-5>
  6. Yadav S., Arya R., Dakshinamoorthy R., Jha A.A., Jain S., Kumar I. Facet tropism/inclination and its association with intervertebral disc herniation in the lumbar spine – a radiological evaluation. *Revista Brasileira de Ortopedia (São Paulo)*. 2022. Vol. 57, № 6. P. 941–946. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742338>
  7. Han Y., Sun S., Li S., Li Y., Wang J., Wang X. Correlation between lumbar facet joint tropism and lumbar disc herniation. *Research Square*. 2022. Vol. 12. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2332406/v1>
  8. Degulmadi D., Dave B., Krishnan A., Patel D. The relationship of facet joint orientation and tropism with lumbar disc herniation and degenerative spondylolisthesis in the lower lumbar spine. *Asian Spine Journal*. 2019. Vol. 13, № 1. P. 22–28. DOI: <https://doi.org/10.31616/asj.2018.0116>
  9. Akar E., Toprak F., Oğrenci A. The relationship between bone canal diameter and facet tropism in cases of lumbar spinal stenosis. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*. 2022. Vol. 13, № 4. P. 641–646. DOI: <https://doi.org/10.25259/JNRP-2022-7-26>
  10. Wang A., Wang T., Zang L., Yuan S., Fan N., Du P., Wu Q. Quantitative radiological characteristics of the facet joints in patients with lumbar foraminal stenosis. *Journal of Pain Research*. 2022. Vol. 15. P. 2363–2371. DOI: <https://doi.org/10.2147/JPR.S374720>
  11. Kapetanakis S., Gkantsinikoudis N. Anatomy of lumbar facet joint: a comprehensive review. *Folia Morphologica (Warszawa)*. 2021. Vol. 80, № 4. P. 799–805. DOI: <https://doi.org/10.5603/FM.a2020.0122>
  12. Kim H.J., Chun H.J., Lee H.M., Kang K.T., Lee C.K., Chang B.S., Yeom J.S. The biomechanical influence of the facet joint orientation and the facet tropism in the lumbar spine. *The Spine Journal*. 2013. Vol. 13, № 10. P. 1301–1308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.025>
  13. Jaumard N.V., Welch W.C., Winkelstein B.A. Spinal facet joint biomechanics and mechanotransduction in normal, injury and degenerative conditions. *Journal of Biomechanical Engineering*. 2011. Vol. 133, № 7. P. 071010. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4004493>
  14. Mengoni M. Biomechanical modelling of the facet joints: a review of methods and validation processes in finite element analysis. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*. 2021. Vol. 20. P. 389–401. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10237-020-01403-7>
  15. Gao T., Lai Q., Zhou S., Liu X., Liu Y., Zhan P., et al. Correlation between facet tropism and lumbar degenerative disease: a retrospective analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017. Vol. 18, № 1. P. 483. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1849-x>
  16. Acevedo-Gonzalez J.C., Delgado-Caicedo M.G., Lacouture-Silgado I. Bertolotti syndrome: does it really exist? Systematic review. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. 2025. Vol. 40. P. 102008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inat.2025.102008>
  17. Kojo S., Takahashi K., Tsubakino T., Hashimoto K., Aizawa T., Tanaka Y. Lumbar radiculopathy due to Bertolotti's syndrome: alternative method to reveal the "hidden zone". A report of two cases and review of literature. *Journal of Orthopaedic Science*. 2024. Vol. 29. P. 366–369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.02.004>
  18. Rakauskas T.R., Gallup S., Mohamed A.A., Nasice J., Westerhaus B. An update on the prevalence and management of Bertolotti's syndrome. *Frontiers in Surgery*. 2024. Vol. 11. P. 1486811. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1486811>
  19. Bhagchandani C., Murugan C., Jakkepally S., Shetty A.P., Kanna R.M., Rajasekaran S. A whole spine MRI based study of the prevalence, associated disc degeneration and anatomical correlations of lumbosacral transitional vertebra. *Global Spine Journal*. 2024. Vol. 14, № 7. P. 1952–1958. DOI: <https://doi.org/10.1177/21925682231161559>
  20. Carneiro V.M., Pongeluppi R.I., Fernandes D.S., Aragon D.C., Boulosa J. Correlations between facet tropism, joint mobility and degree of displacement in patients with low grade spondylolisthesis. *Turkish Neurosurgery*. 2024. Vol. 34, № 6. P. 1050–1055. DOI: <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.40720-22.3>
  21. Eksi M.S., Özcan-Eksi E.E., Orhun O., Huet S.E., Turgut V.U., Pamir M.N. Association between facet joint orientation/tropism and lumbar intervertebral disc degeneration. *British Journal of Neurosurgery*. 2024. Vol. 38, № 2. P. 293–300. DOI: <https://doi.org/10.1080/02688697.2020.1864289>
  22. Pang H., Chen S., Klyne D.M., Harrich D., Ding W., Yang S., Han F.Y. Low back pain and osteoarthritis pain: a perspective study. *Journal of Orthopaedics*. 2018;16(2):123–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.12.008>
  4. Lee JY, Lee HI, Lee SH, Kim NH. Mechanical influence of facet tropism in patients with chronic discogenic pain disorder. *Bone & Joint Research*. 2024;13(9):452–61. DOI: <https://doi.org/10.1302/2046-3758.139.BJR-2023-0363.R1>
  5. Araç D, Yüksek ME, Karatas F, Arslan Karagöz G, Bozkurt H, Sertdemir M, et al. The association between facet joint tropism and lumbar disc herniation. *Middle Black Sea Journal of Health Science*. 2024;10(4):331–40. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2612-5>
  6. Yadav S, Arya R, Dakshinamoorthy R, Jha AA, Jain S, Kumar I. Facet tropism/inclination and its association with intervertebral disc herniation in the lumbar spine – a radiological evaluation. *Revista Brasileira de Ortopedia (São Paulo)*. 2022;57(6):941–6. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742338>
  7. Han Y, Sun S, Li S, Li Y, Wang J, Wang X. Correlation between lumbar facet joint tropism and lumbar disc herniation. *Research Square*. 2022;12:1–13. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2332406/v1>
  8. Degulmadi D, Dave B, Krishnan A, Patel D. The relationship of facet joint orientation and tropism with lumbar disc herniation and degenerative spondylolisthesis in the lower lumbar spine. *Asian Spine Journal*. 2019;13(1):22–8. DOI: <https://doi.org/10.31616/asj.2018.0116>
  9. Akar E, Toprak F, Oğrenci A. The relationship between bone canal diameter and facet tropism in cases of lumbar spinal stenosis. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*. 2022;13(4):641–6. DOI: <https://doi.org/10.25259/JNRP-2022-7-26>
  10. Wang A, Wang T, Zang L, Yuan S, Fan N, Du P, et al. Quantitative radiological characteristics of the facet joints in patients with lumbar foraminal stenosis. *Journal of Pain Research*. 2022;15:2363–71. DOI: <https://doi.org/10.2147/JPR.S374720>
  11. Kapetanakis S, Gkantsinikoudis N. Anatomy of lumbar facet joint: a comprehensive review. *Folia Morphologica (Warszawa)*. 2021;80(4):799–805. DOI: <https://doi.org/10.5603/FM.a2020.0122>
  12. Kim HJ, Chun HJ, Lee HM, Kang KT, Lee CK, Chang BS, et al. The biomechanical influence of the facet joint orientation and the facet tropism in the lumbar spine. *The Spine Journal*. 2013;13(10):1301–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.025>
  13. Jaumard NV, Welch WC, Winkelstein BA. Spinal facet joint biomechanics and mechanotransduction in normal, injury and degenerative conditions. *Journal of Biomechanical Engineering*. 2011;133(7):071010. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4004493>
  14. Mengoni M. Biomechanical modelling of the facet joints: a review of methods and validation processes in finite element analysis. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*. 2021;20:389–401. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10237-020-01403-7>
  15. Gao T, Lai Q, Zhou S, Liu X, Liu Y, Zhan P, et al. Correlation between facet tropism and lumbar degenerative disease: a retrospective analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017;18(1):483. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1849-x>
  16. Acevedo-Gonzalez JC, Delgado-Caicedo MG, Lacouture-Silgado I. Bertolotti syndrome: does it really exist? Systematic review. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. 2025;40:102008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inat.2025.102008>
  17. Kojo S, Takahashi K, Tsubakino T, Hashimoto K, Aizawa T, Tanaka Y. Lumbar radiculopathy due to Bertolotti's syndrome: alternative method to reveal the "hidden zone". A report of two cases and review of literature. *Journal of Orthopaedic Science*. 2024;29:366–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.02.004>
  18. Rakauskas TR, Gallup S, Mohamed AA, Nasice J, Westerhaus B. An update on the prevalence and management of Bertolotti's syndrome. *Frontiers in Surgery*. 2024;11:1486811. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1486811>
  19. Bhagchandani C, Murugan C, Jakkepally S, Shetty AP, Kanna RM, Rajasekaran S. A whole spine MRI based study of the prevalence, associated disc degeneration and anatomical correlations of lumbosacral transitional vertebra. *Global Spine Journal*. 2024;14(7):1952–8. DOI: <https://doi.org/10.1177/21925682231161559>
  20. Carneiro VM, Pongeluppi RI, Fernandes DS, Aragon DC, Boulosa J. Correlations between facet tropism, joint mobility and degree of displacement in patients with low grade spondylolisthesis. *Turkish Neurosurgery*. 2024;34(6):1050–5. DOI: <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.40720-22.3>
  21. Eksi MS, Özcan-Eksi EE, Orhun O, Huet SE, Turgut VU, Pamir MN. Association between facet joint orientation/tropism and lumbar intervertebral disc degeneration. *British Journal of Neurosurgery*. 2024;38(2):293–300. DOI: <https://doi.org/10.1080/02688697.2020.1864289>
  22. Pang H, Chen S, Klyne DM, Harrich D, Ding W, Yang S, Han FY. Low back pain and osteoarthritis pain: a perspective

- of estrogen. *Bone Research*. 2023. Vol. 11. P. 42. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41413-023-00280-x>
23. Desai A., Obiri-Yeboah D., McGrath K., Sheehan J., Loss J., Reith J.D., Steinmetz M.P. Histologic assessment of lumbosacral transitional vertebrae pseudoarticulation as a source of pain in Bertolotti syndrome. *World Neurosurgery*. 2024. Vol. 189. P. e267–e271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.06.032>
24. McGrath K.A., Thompson N.R., Fisher E., Kanasz J., Golubovsky J.L., Steinmetz M.P. Quality-of-life and postoperative satisfaction following pseudoarthrectomy in patients with Bertolotti syndrome. *The Spine Journal*. 2022. Vol. 22, № 8. P. 1292–1300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.02.010>
25. Can T.S., Yilmaz B.K., Ozdemir S. Sacralization may be associated with facet orientation and tropism but not degenerative changes of the lumbar vertebrae. *Polish Journal of Radiology*. 2021. Vol. 86. P. e387–e393. DOI: <https://doi.org/10.5114/pjr.2021.107726>
26. Garg K., Aggarwal A. Facet tropism in lumbar spine and cervical spine: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurgery*. 2021. Vol. 147. P. 47–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.11.171>
27. Alonso F., Kirkpatrick C.M., Jeong W., Fisahn C., Usman S., Rustagi T., et al. Lumbar facet tropism: a comprehensive review. *World Neurosurgery*. 2017. Vol. 102. P. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.02.114>
28. Zheng Z., Wang Y., Wang T., Wu Y., Li Y. A systematic review and meta-analysis of the facet joint orientation and its effect on the lumbar. *Journal of Healthcare Engineering*. 2022. Vol. 2022. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2486745>
29. Cornaz F., Widmer J., Farshad-Amacker N.A., Spirig J.M., Snedeker J.G., Farshad M. Biomechanical contributions of spinal structures with different degrees of disc degeneration. *Spine (Philadelphia, Pa. 1976)*. 2021. Vol. 46, № 16. P. E869–E877. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003883>
30. Park J.S., Goh T.S., Lee J.S., Lee S. Impact of asymmetric L4–L5 facet joint degeneration on lumbar spine biomechanics using a finite element approach. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 12613. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97021-3>
31. Song Y., Wen W.-Q., Xu J., Zhang Z.-P., Han Y., Li K.-P., Wang X.-D., Xu H.-X., Liu J., Miao J. Kinematic characteristics and biomechanical changes of lower lumbar facet joints under different loads. *Orthopaedic Surgery*. 2021. Vol. 13. P. 1047–1054. DOI: <https://doi.org/10.1111/os.12894>
32. Mohanty S.P., Pai Kanhangad M., Kamath S., Kamath A. Morphometric study of the orientation of lumbar zygapophyseal joints in a South Indian population. *Journal of Orthopaedic Surgery*. 2017. Vol. 25, № 3. P. 2309499017739483. DOI: <https://doi.org/10.1177/2309499017739483>
33. Naeem K., Nathani K.R., Barakzai M.D., Khan S.A., Rai H.H., Mubarak F., Enam S.A. Modifications in lumbar facet joint are associated with spondylolisthesis in the degenerative spine diseases: a comparative analysis. *Acta Neurochirurgica*. 2021. Vol. 163, № 3. P. 863–871. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04657-3>
34. Aaen J., Austevoll I.M., Hellum C., Storheim K., Myklebust T.A., Banitalebi H., Anvar M., Brox J.I., Weber S. Clinical and MRI findings in lumbar spinal stenosis: baseline data from the NORDSTEN study. *European Spine Journal*. 2022. Vol. 31. P. 1391–1398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04657-3>
35. Ke S., He X., Yang M., Wang S., Song X., Li Z. The biomechanical influence of facet joint parameters on corresponding segment in the lumbar spine: a new visualization method. *The Spine Journal*. 2021. Vol. 21, № 12. P. 2112–2121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.05.024>
36. Ma Y., Huang P., Tu Z., Yao Z., Wang Z., Luo Z., Hu X. Associations between facet tropism and vertebral rotation in patients with degenerative lumbar disease. *European Journal of Medical Research*. 2021. Vol. 26, № 1. P. 149. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40001-021-00622-7>
- a perspective of estrogen. *Bone Research*. 2023;11:42. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41413-023-00280-x>
23. Desai A, Obiri-Yeboah D, McGrath K, Sheehan J, Loss J, Reith JD, Steinmetz MP. Histologic assessment of lumbosacral transitional vertebrae pseudoarticulation as a source of pain in Bertolotti syndrome. *World Neurosurgery*. 2024;189:e267–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.06.032>
24. McGrath KA, Thompson NR, Fisher E, Kanasz J, Golubovsky JL, Steinmetz MP. Quality-of-life and postoperative satisfaction following pseudoarthrectomy in patients with Bertolotti syndrome. *The Spine Journal*. 2022;22(8):1292–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.02.010>
25. Can TS, Yilmaz BK, Ozdemir S. Sacralization may be associated with facet orientation and tropism but not degenerative changes of the lumbar vertebrae. *Polish Journal of Radiology*. 2021;86:e387–93. DOI: <https://doi.org/10.5114/pjr.2021.107726>
26. Garg K, Aggarwal A. Facet tropism in lumbar spine and cervical spine: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurgery*. 2021;147:47–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.11.171>
27. Alonso F, Kirkpatrick CM, Jeong W, Fisahn C, Usman S, Rustagi T, et al. Lumbar facet tropism: a comprehensive review. *World Neurosurgery*. 2017;102:91–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.02.114>
28. Zheng Z, Wang Y, Wang T, Wu Y, Li Y. A systematic review and meta-analysis of the facet joint orientation and its effect on the lumbar. *Journal of Healthcare Engineering*. 2022;2022:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2486745>
29. Cornaz F, Widmer J, Farshad-Amacker NA, Spirig JM, Snedeker JG, Farshad M. Biomechanical contributions of spinal structures with different degrees of disc degeneration. *Spine (Philadelphia, Pa. 1976)*. 2021;46(16):E869–77. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003883>
30. Park JS, Goh TS, Lee JS, Lee S. Impact of asymmetric L4–L5 facet joint degeneration on lumbar spine biomechanics using a finite element approach. *Scientific Reports*. 2025;15:12613. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97021-3>
31. Song Y, Wen WQ, Xu J, Zhang ZP, Han Y, Li KP, Wang XD, Xu HX, Liu J, Miao J. Kinematic characteristics and biomechanical changes of lower lumbar facet joints under different loads. *Orthopaedic Surgery*. 2021;13:1047–54. DOI: <https://doi.org/10.1111/os.12894>
32. Mohanty SP, Pai Kanhangad M, Kamath S, Kamath A. Morphometric study of the orientation of lumbar zygapophyseal joints in a South Indian population. *Journal of Orthopaedic Surgery*. 2017;25(3):2309499017739483. DOI: <https://doi.org/10.1177/2309499017739483>
33. Naeem K, Nathani KR, Barakzai MD, Khan SA, Rai HH, Mubarak F, Enam SA. Modifications in lumbar facet joint are associated with spondylolisthesis in the degenerative spine diseases: a comparative analysis. *Acta Neurochirurgica*. 2021;163(3):863–71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04657-3>
34. Aaen J, Austevoll IM, Hellum C, Storheim K, Myklebust TA, Banitalebi H, Anvar M, Brox JI, Weber S. Clinical and MRI findings in lumbar spinal stenosis: baseline data from the NORDSTEN study. *European Spine Journal*. 2022;31:1391–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04657-3>
35. Ke S, He X, Yang M, Wang S, Song X, Li Z. The biomechanical influence of facet joint parameters on corresponding segment in the lumbar spine: a new visualization method. *The Spine Journal*. 2021;21(12):2112–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.05.024>
36. Ma Y, Huang P, Tu Z, Yao Z, Wang Z, Luo Z, Hu X. Associations between facet tropism and vertebral rotation in patients with degenerative lumbar disease. *European Journal of Medical Research*. 2021;26(1):149. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40001-021-00622-7>

### Перспективи подальших досліджень

Перспективним напрямком подальших досліджень представляється порівняльна оцінка функціонального стану паравертебральних м'язів у асимптомних волонтерів та пацієнтів з остеохондрозом поперекового відділу хребта з помірним больовим синдромом та порушеннями рухового контролю м'язів попереково-тазової ділянки.

### Prospects for further research

A promising direction for further research is comparative assessment of the functional state of paravertebral muscles in asymptomatic volunteers and patients with osteochondrosis of the lumbar spine with moderate pain syndrome and impaired motor control of the muscles of the lumbopelvic region.

### Конфлікт інтересів

Автори рукопису свідомо засвідчують відсутність фактичного або потенційного конфлікту інтересів щодо результатів цієї роботи з фармацевтичними компаніями, виробниками біомедичних пристроїв, іншими організаціями, чії продукти, послуги, фінансова підтримка можуть бути пов'язані з предметом наданих матеріалів або які спонсорували проведені дослідження.

### Інформація про фінансування

Фінансування видатками Державного бюджету України. Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи кафедри травматології та ортопедії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України «Діагностика остеопорозу при інфекційних запальних захворюваннях опорно-рухового апарату», номер державної реєстрації: 01200U102453, термін виконання: 2021–2024 рр., керівник – завідувач кафедри, доктор медичних наук, професор Г.Г. Голка.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Колесніченко Віра Анатоліївна** – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри хірургічних хвороб медичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України; майдан Свободи, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)  
моб.: +38 (066) 141-89-91

**Внесок автора:** концепція та дизайн дослідження, аналіз та інтерпретація даних, підбір літературних джерел за темою роботи, остаточне затвердження статті.

**Голка Григорій Григорович** – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри травматології та ортопедії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [gr.golka@ukr.net](mailto:gr.golka@ukr.net)  
моб.: +38 (050) 400-95-76

**Внесок автора:** аналіз та інтерпретація даних, формулювання висновків, редагування статті, остаточне затвердження статті.

**Гресько Ігор Володимирович** – кандидат медичних наук, лікар ортопед-травматолог Приватного підприємства «Мережа медичних центрів «Родина»; вул. Володимира Великого, буд. 34, м. Львів, Україна, 70053;

e-mail: [gresko.i.v@gmail.com](mailto:gresko.i.v@gmail.com)  
моб.: +38 (097) 935-87-04

**Внесок автора:** аналіз отриманих даних та їх статистична обробка, написання тексту статті.

**Фадєєв Олег Геннадійович** – кандидат медичних наук, доцент кафедри травматології та ортопедії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [oh.fadieiev@knu.edu.ua](mailto:oh.fadieiev@knu.edu.ua)  
моб.: +38 (096) 926-42-49

**Внесок автора:** проведення рентгенологічних досліджень, аналіз отриманих даних та їх статистична обробка, написання тексту статті.

### Conflict of interest

The authors of the manuscript consciously declare the absence of actual or potential conflict of interest regarding the results of this work with pharmaceutical companies, manufacturers of biomedical devices, other organizations whose products, services, financial support may be related to the subject of the provided materials or sponsored studies.

### Funding information

Financing from State Budget expenditures. The article is a fragment of the planned research work of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine «Diagnosis of osteoporosis in infectious inflammatory diseases of the musculoskeletal system», state registration number: 0120U102453, implementation period: 2021–2024, supervisor – Head of the Department, Doctor of Medical Sciences, Professor H.H. Holka.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Kolesnichenko Vira Anatoliivna** – Doctor of Medical Sciences, Senior scientific specialist in medicine, professor of the Department of Surgical Diseases of the Medical Faculty of the V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [vira.a.kolesnichenko@karazin.ua](mailto:vira.a.kolesnichenko@karazin.ua)  
tel.: +38 (066) 141-89-91

**Author's contribution:** concept and design of the study, analysis and interpretation of data, selection of literary sources on the topic of the work, final approval of the article.

**Holka Hrigorii Hrigorovich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [gr.golka@ukr.net](mailto:gr.golka@ukr.net)  
tel.: +38 (050) 400-95-76

**Author's contribution:** data analysis and interpretation, formulation of conclusions, editing of the article, final approval of the article.

**Hresko Ihor Volodymyrovych** – Candidate of Medical Sciences, orthopedic trauma surgeon of the Private Enterprise «Rodyna Medical Centers Network»; 34 Volodymyra Velykoho Str., Lviv, Ukraine, 70053;

e-mail: [gresko.i.v@gmail.com](mailto:gresko.i.v@gmail.com)  
tel.: +38 (097) 935-87-04

**Author's contribution:** analyzing the obtained data and their statistical processing, writing the text of the article.

**Fadieiev Oleh Hennadiiovych** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [oh.fadieiev@knu.edu.ua](mailto:oh.fadieiev@knu.edu.ua)  
tel.: +38 (096) 926-42-49

**Author's contribution:** conducting radiographic studies, analyzing the obtained data and their statistical processing, writing the text of the article.

**Олійник Антон Олександрович** – кандидат медичних наук, доцент кафедри травматології та ортопедії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [ao.oliinyk@knmu.edu.ua](mailto:ao.oliinyk@knmu.edu.ua)  
моб.: +38 (050) 061-43-53

**Внесок автора:** проведення рентгенологічних досліджень, аналіз отриманих даних та їх статистична обробка, написання тексту статті.

**Введенський Борис Петрович** – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургічних хвороб медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України; майдан Свободи, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [ortopeddkb@gmail.com](mailto:ortopeddkb@gmail.com)  
моб.: +38 (067) 570-79-39

**Внесок автора:** підбір літературних джерел за темою роботи, збір даних, проведення рентгенометричних досліджень.

**Введенський Дмитро Борисович** – кандидат медичних наук, асистент кафедри хірургічних хвороб медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України; майдан Свободи, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;

e-mail: [vvedenskyd@ukr.net](mailto:vvedenskyd@ukr.net)  
моб.: +38 (063) 875-44-09

**Внесок автора:** підбір літературних джерел за темою роботи, збір даних, проведення рентгенометричних досліджень.

**Oliinyk Anton Oleksandrovych** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [ao.oliinyk@knmu.edu.ua](mailto:ao.oliinyk@knmu.edu.ua)  
tel.: +38 (050) 061-43-53

**Author's contribution:** conducting radiographic studies, analyzing the obtained data and their statistical processing, writing the text of the article.

**Vvedensky Boris Petrovich** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Surgical Diseases of the Medical Faculty of the V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [ortopeddkb@gmail.com](mailto:ortopeddkb@gmail.com)  
tel.: +38 (067) 570-79-39

**Author's contribution:** selection of literary sources on the topic of the work, collection of data, conducting radiometric studies.

**Vvedensky Dmitro Borisovich** – Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor of the Department of Surgical Diseases of the Medical Faculty of the V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022;

e-mail: [vvedenskyd@ukr.net](mailto:vvedenskyd@ukr.net)  
tel.: +38 (063) 875-44-09

**Author's contribution:** selection of literary sources on the topic of the work, collection of data, conducting radiometric studies.

Рукопис надійшов  
*Manuscript was received*  
23.03.2025

Отримано після рецензування  
*Received after review*  
17.05.2025

Прийнято до друку  
*Accepted for printing*  
07.06.2025

Опубліковано  
*Published*  
30.06.2025