

Сагітальний профіль морфотипів колінного суглоба при остеоартриті

Р. І. Блонський^{1,2,A,E,F}, Л. О. Килимнюк^{3,B,C,D}

¹ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, ²Приватний вищий навчальний заклад «Київський медичний університет», м. Київ, ³Медичний центр «Angels Clinic», м. Вінниця, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Ключові слова:

колінний суглоб, остеоартрит, дегенеративно-дистрофічні захворювання, гонартроз, морфологія.

Keywords:

knee joint, osteoarthritis, degenerative-dystrophic diseases, gonarthrosis, morphology.

Надійшла до редакції /
Received: 18.07.2025

Після доопрацювання /
Revised: 02.09.2025

Схвалено до друку /
Accepted: 15.09.2025

Конфлікт інтересів:
відсутній.

Conflicts of interest:

authors have no conflict of interest to declare.

Мета роботи – охарактеризувати особливості сагітальної морфології колінних суглобів при остеоартриті з урахуванням структурного варіанта суглоба, визначеного за власною кластерною системою.

Матеріали і методи. Проаналізовано 100 рентгенограм колінного суглоба 70 пацієнтів з остеоартритом. Морфотип I встановлено у 21 (21,00 %) хворого, морфотип II – у 38 (38,00 %), морфотип III – у 29 (29,00 %), морфотип IV – у 12 (12,00 %). Серед рентгенографічних критеріїв оцінювали: задній дистальний кут стегнової кістки (PDFA), індекс заднього виросткового зсуву (PCOR), задній нахил плато великогомілкової кістки (PTS), горбистісно-модифікований тібіальний нахил (TMTS), кут інфлексії горбистості великогомілкової кістки (TTIA). Статистичний аналіз здійснено з використанням програми Statistica 13. Значущими вважали відмінності при $p \leq 0,05$.

Результати. Середнє значення PDFA становило $84,98 \pm 5,62^\circ$, зокрема у пацієнтів з морфотипом I – $89,27 \pm 1,79^\circ$, морфотипом II – $87,20 \pm 4,50^\circ$, морфотипом III – $83,11 \pm 4,33^\circ$, морфотипом IV – $75,43 \pm 2,64^\circ$ ($p < 0,00001$). Середній PCOR дорівнював $0,44 \pm 0,08$. Показник індексу у хворих з морфотипом I становив $0,45 \pm 0,05$, морфотипом II – $0,44 \pm 0,10$, морфотипом III – $0,45 \pm 0,07$, морфотипом IV – $0,39 \pm 0,06$ ($p = 0,14$). Середнє значення PTS – $9,00 \pm 4,18^\circ$. Найвищі значення встановлено в обстежених з морфотипом I – $11,82 \pm 4,00^\circ$, у хворих з морфотипом II – $9,72 \pm 4,72^\circ$, морфотипом III – $7,58 \pm 2,91^\circ$, морфотипом IV – $5,86 \pm 1,46^\circ$ ($p = 0,01$). Середній показник TMTS дорівнював $36,48 \pm 6,28^\circ$. Значення кута у хворих з морфотипом I становило $35,36 \pm 3,78^\circ$, морфотипом II – $34,92 \pm 7,17^\circ$, морфотипом III – $37,45 \pm 5,78^\circ$, морфотипом IV – $41,14 \pm 5,52^\circ$ ($p = 0,045$). Середній показник TTIA становив $160,54 \pm 6,81^\circ$: в осіб з морфотипом I – $157,91 \pm 8,81^\circ$, морфотипом II – $158,62 \pm 5,90^\circ$, морфотипом III – $162,74 \pm 6,07^\circ$, морфотипом IV – $165,57 \pm 4,31^\circ$ ($p = 0,008$). Доведено вищі шанси формування морфотипу III у пацієнтів зі значеннями PDFA $79-87^\circ$ (OR = 5,66, CI (1,71–18,68), $p = 0,003$). Вищі шанси розвитку морфотипу II встановлено у хворих з показниками PCOR $>0,44$ (OR = 3,34, CI (1,06–10,50), $p = 0,03$). Наявність значень PTS $>8^\circ$ підвищує шанси формування морфотипу I (OR = 6,43, CI (1,22–33,95), $p = 0,01$).

Висновки. Враховуючи встановлені морфотип-специфічні відмінності параметрів сагітальної морфології колінних суглобів при остеоартриті, доцільними є подальші дослідження щодо обґрунтування персоналізованого підходу при плануванні ортопедичних втручань.

Сучасні медичні технології. 2025. Т. 17, № 4(67). С. 279-290

Sagittal profile of knee joint morphotypes in osteoarthritis

R. I. Blonskyi, L. O. Kilymniuk

The aim of the study was to characterize the features of sagittal morphology of knee joints in osteoarthritis, considering the structural variant of the joint determined by our own cluster system.

Materials and methods. A total of 100 knee radiographs from 70 patients diagnosed with osteoarthritis were analyzed. Based on the proposed classification system, morphotype I was identified in 21 patients (21.00 %), morphotype II in 38 (38.00 %), morphotype III in 29 (29.00 %), and morphotype IV in 12 patients (12.00 %). The following radiographic parameters were assessed: posterior distal femoral angle (PDFA), posterior condylar offset ratio (PCOR), posterior tibial slope (PTS), tuberosity-modified tibial slope (TMTS), and tibial tuberosity inflection angle (TTIA). Statistical analysis was performed using Statistica 13 software. Statistical significance was defined at $p \leq 0.05$.

Results. The mean PDFA was $84.98 \pm 5.62^\circ$. Mean values across morphotypes were: morphotype I – $89.27 \pm 1.79^\circ$, morphotype II – $87.20 \pm 4.50^\circ$, morphotype III – $83.11 \pm 4.33^\circ$, and morphotype IV – $75.43 \pm 2.64^\circ$ ($p < 0.00001$). The mean PCOR was 0.44 ± 0.08 . The index value in patients with morphotype I was 0.45 ± 0.05 , morphotype II – 0.44 ± 0.10 , morphotype III – 0.45 ± 0.07 , morphotype IV – 0.39 ± 0.06 ($p = 0.14$). The mean PTS was $9.00 \pm 4.18^\circ$. The highest values were found in patients with morphotype I – $11.82 \pm 4.00^\circ$, patients with morphotype II – $9.72 \pm 4.72^\circ$, morphotype III – $7.58 \pm 2.91^\circ$, and morphotype IV – $5.86 \pm 1.46^\circ$ ($p = 0.01$). The average TMTS was $36.48 \pm 6.28^\circ$. The angle value in patients with morphotype I was $35.36 \pm 3.78^\circ$, morphotype II – $34.92 \pm 7.17^\circ$, morphotype III – $37.45 \pm 5.78^\circ$, morphotype IV – $41.14 \pm 5.52^\circ$ ($p = 0.045$). The mean TTIA

was $160.54 \pm 6.81^\circ$: in individuals with morphotype I – $157.91 \pm 8.81^\circ$, morphotype II – $158.62 \pm 5.90^\circ$, morphotype III – $162.74 \pm 6.07^\circ$, and morphotype IV – $165.57 \pm 4.31^\circ$ ($p = 0.008$). A significantly higher likelihood of morphotype III was observed in patients with PDFA values $79\text{--}87^\circ$ (OR = 5.66, 95 % CI: 1.71–18.68, $p = 0.003$). A higher probability of morphotype II development was associated with PCOR values >0.44 (OR = 3.34, 95 % CI: 1.06–10.50, $p = 0.03$). The presence of PTS values $> 8^\circ$ increases the odds of morphotype I formation (OR = 6.43, 95 % CI: 1.22–33.95, $p = 0.01$).

Conclusions. Given the identified morphotype-specific differences in sagittal knee joint morphology in osteoarthritis, further studies are needed to justify a personalized approach to orthopaedic surgical planning.

Modern medical technology. 2025;17(4):279-290

Остеоартрит – це хронічне, прогресуюче захворювання суглобів, яке характеризується дегенерацією суглобового хряща, ремоделюванням субхондральної кістки, утворенням остеофітів, запаленням синовіальних структур [1,2]. Розуміння патоморфологічних змін, які виникають при остеоартриті, суттєво змінилося з часом. Спочатку його розглядали виключно як захворювання суглобового хряща, згодом стало очевидно, що вражається й субхондральна кістка. Сьогодні відомо, що до патологічного процесу залучені всі структури суглоба та оточуючі тканини. Встановлені дані стали підґрунтям для формування сучасного уявлення про остеоартрит як хворобу всього суглоба, а не лише як втрату хряща внаслідок механічного навантаження [3]. За даними R. Giorgino et al., запальний процес при остеоартриті починається в синовіальній оболонці та супроводжується активацією імунної системи, у якій беруть участь як клітинні, так і гуморальні медіатори. Важливу роль у патогенезі відіграють «молекулярні патерни, пов'язані з ушкодженням» (DAMP), які запускають каскад запальних реакцій [1].

У структурі загального тягаря зумовленого дегенеративно-дистрофічними захворюваннями суглобів, остеоартрит колінного суглоба сягає 85 % [4]. Відзначають суттєве зростання показників поширеності гонартрозу протягом останніх років, що пов'язують зі старінням населення та збільшенням частки асоційованих коморбідних станів [2]. Згідно з даними епідеміологічних досліджень, упродовж 2005–2015 рр. поширеність остеоартриту колінного суглоба зросла на 32,7 %, а за період з 1992 до 2021 рр. – на 124,51 % [3,5]. В умовах сьогодення понад 250 мільйонів людей у світі страждають на гонартроз; згідно з даними Y. Lv et al., зазначений показник сягає 374,7 млн [1,3,5]. Показники поширеності остеоартриту колінного суглоба суттєво відрізняються за даними різних дослідників, що пов'язано з відмінностями методологічних підходів, а також географічними і демографічними особливостями вибірок [1].

Колінний суглоб, порівняно з іншими суглобами опорно-рухового апарату, має складну анатомію з вираженою міжіндивідуальною морфологічною варіабельністю [6].

Останніми роками дедалі більшого визнання набуває концепція відтворення природного положення осі нижньої кінцівки при реконструктивних втручаннях, спрямованих на відновлення форми та функції уражених структур колінного суглоба. Зокрема, відзначають збільшення частки ендопротезування колінного суглоба з кінематичним вирівнюванням у загальній структурі втручань. Перевагами методики є відтворення нативних просторових співвідношень суглоба,

що пов'язано з меншою травматизацією тканин, зокрема з меншою потребою у релізі, порівняно з методикою механічного вирівнювання. Водночас з огляду на відносну новизну методики клінічні результати віддаленого післяопераційного періоду залишаються недостатньо вивченими [7].

Більшість досліджень, присвячених концепції відновлення природного положення осі нижньої кінцівки, зосереджені на оцінюванні структурних змін суглоба в корональній площині, проблема сагітального відтворення залишається поза фокусом уваги науковців. Найбільш дослідженим параметром сагітальної морфології колінного суглоба є задній нахил плато великогомілкової кістки (PTS), який дає змогу охарактеризувати стан суглобової поверхні великогомілкової кістки. Висока міжіндивідуальна варіабельність показника з урахуванням статі, етнічної належності, особливостей перебігу захворювання, методик вимірювання підтверджена у низці досліджень [7,8,9]. Крім того, доведено є відмінність показників PTS медіального і латерального відділів колінного суглоба, що додатково відображає складність морфології проксимального відділу великогомілкової кістки [6].

У ретроспективному дослідженні M. Meier et al., аналізуючи результати комп'ютерної томографії 234 європейських пацієнтів з остеоартритом колінного суглоба, кількісно оцінили варіації морфологічних параметрів проксимального відділу великогомілкової кістки, зокрема медіального й латерального PTS (MPTS і LPTS відповідно) та медіального проксимального великогомілкового кута (MPTA). Дослідниками доведено значну варіабельність показників MPTS, LPTS та MPTA у обстежених, а також значущу відмінність значень MPTS та LPTS в межах одного колінного суглоба. Середній показник MPTA становив $86,6 \pm 2,4^\circ$ (діапазон $79,8\text{--}92,1^\circ$). Автори праці відзначили варіації значень PTS в межах 20° , зокрема MPTS (від $-4,3^\circ$ до $16,8^\circ$), LPTS (від $-2,9^\circ$ до $17,2^\circ$). Середня внутрішньоіндивідуальна різниця між MPTS і LPTS – $2,6 \pm 2,0^\circ$ з максимальним значенням $9,5$ [8].

Значущі відмінності морфологічних показників проксимального відділу великогомілкової кістки підтверджено результатами аналізу комп'ютерних томограм колінних суглобів 965 здорових та 193 пацієнтів з остеоартритом, оприлюдненого A. Siddiqi et al. Дослідники визначили відмінність показників MPTS та LPTS як у хворих з остеоартритом ($8,4 \pm 4,0^\circ$ та $9,2 \pm 3,6^\circ$ відповідно), так і в здорових обстежених ($9,2 \pm 4,0^\circ$ та $7,2 \pm 3,3^\circ$ відповідно). У пацієнтів з остеоартритом, порівняно з показниками групи контролю, встановили значущо менші значення MPTS ($8,4 \pm 4,0^\circ$ порівняно з $9,2 \pm 4,0^\circ$ відповідно) та більші показники LPTS ($9,2 \pm 3,6^\circ$ порівняно з $7,2 \pm 3,3^\circ$).

відповідно). Зважаючи на доведені відмінності, автори праці відзначили необхідність впровадження персоналізованого підходу до лікування остеоартриту колінного суглоба з використанням імплантатів і технологій, які дадуть змогу індивідуалізувати методику ендопротезування, враховуючи морфологічні характеристики пацієнта [9].

Незважаючи на значну кількість досліджень, спрямованих на вивчення клініко-функціональних змін при гонартрозі, питання типології морфологічних варіантів колінного суглоба, зокрема в сагітальній площині, залишається недостатньо висвітленим. Хоча розуміння таких варіантів може мати важливе значення для прогнозування прогресування захворювання та вибору оптимального лікувального підходу. Аналіз морфологічних особливостей колінних суглобів при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях дасть змогу вдосконалити методику персоналізованого позиціонування імплантатів при ендопротезуванні та покращити клінічні результати лікування у віддаленому періоді.

Нульова гіпотеза дослідження полягала у відсутності значущої відмінності морфологічних характеристик колінного суглоба, встановлених у сагітальній площині, враховуючи структурний варіант суглоба, визначений за власною кластерною системою.

Мета роботи

Проаналізувати особливості сагітальної морфології колінних суглобів при остеоартриті з урахуванням структурного варіанта суглоба, визначеного за власною кластерною системою.

Матеріали і методи дослідження

У поданому обсерваційному поперечному (cross-sectional) дослідженні проаналізовано результати рентгенографічного обстеження 100 випадків остеоартриту колінного суглоба з переважним ураженням медіального відділу суглоба 70 хворих, які перебували на стаціонарному лікуванні в травматологічному відділенні КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги» за період 2017–2025 рр.

Критерії залучення пацієнтів у дослідження: первинний остеоартрит (остеоартроз) колінного суглоба II–III ст. за класифікацією Kellgren-Lawrence з переважним ураженням медіального відділу; вторинний остеоартрит колінного суглоба з переважним ураженням медіального відділу суглоба, зокрема після перенесеного асептичного некрозу медіального виростка стегнової кістки; задовільний стан латерального відділу колінного суглоба (неушкоджений меніск та повна товщина суглобового хряща); цілісність зв'язкового апарату колінного суглоба; можливість повного розгинання колінного суглоба або наявність згинальної контрактури $<10^\circ$.

Критерії виключення з дослідження: одночасне ураження медіального та латерального відділів колінного суглоба дегенеративно-дистрофічним процесом I–IV ст.; вторинний посттравматичний остеоартрит після перелому плато великогомілкової кістки; попередні оперативні втручання, здійснені в ділянці проксимального відділу великогомілкової

кістки, в анамнезі (за винятком артроскопічної меніссктомії); наявність згинальної контрактури $>10^\circ$; нестабільність зв'язкового апарату колінного суглоба; вторинний остеоартроз, зумовлений диспластичними змінами кісткової тканини, метаболічними та іншими захворюваннями (охроноз, хвороба Гоше, хвороба Педжета, остеопетроз); активний інфекційний процес чи наявність латентної інфекції.

Середній вік обстежених хворих становив $63,56 \pm 8,10$ років. До групи включено 26 (37,14 %) чоловіків та 44 (62,86 %) жінки. У 40 (57,14 %) хворих групи зафіксовано ознаки одностороннього остеоартриту колінного суглоба, у 30 (42,86 %) пацієнтів – двобічний характер дегенеративно-дистрофічного процесу.

Для класифікації морфологічних варіантів структури колінного суглоба при остеоартриті нами виконано двоетапний кластерний аналіз. На першому етапі здійснювали ієрархічний кластерний аналіз за методом Уорда з використанням евклідової відстані як міри подібності для оцінювання структури даних та визначення оптимальної кількості кластерів. На другому етапі остаточний розподіл на кластери виконували методом k-середніх. Перед проведенням кластеризації всі досліджувані морфометричні параметри було нормалізовано для усунення впливу різниці масштабів.

Для кластеризації типів колінних суглобів визначали такі морфологічні параметри: показники, визначені у фронтальній площині – характеристики положення анатомічних осей стегнової та великогомілкової кісток та осі нижньої кінцівки, показники внутрішньосуглобових просторових співвідношень, морфометричні показники дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки, допоміжні критерії оцінювання дегенеративно-дистрофічного ураження колінного суглоба, а також параметри, визначені в сагітальній площині: морфологічні показники дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки, показники структури та положення надколінка. Для аналізу корональних морфологічних показників використовували 100 коротких рентгенограм колінних суглобів, виконаних у прямій проекції при опорному навантаженні нижніх кінцівок, параметри, визначені в сагітальній площині оцінювали на 62 рентгенограмах колінних суглобів, виконаних у боковій проекції, у положенні згинання коліна під кутом 30° .

У результаті сформовано чотири кластери, які відповідали 4 морфологічним варіантам колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях. Морфотип I встановлено у 21 (21,00 %) хворого, морфотип II – у 38 (38,00 %), морфотип III колінного суглоба зафіксовано у 29 (29,00 %) пацієнтів, морфотип IV – у 12 (12,00 %) обстежених.

Характерними особливостями морфотипу I вважали комбінацію багатоплощинних деформацій, зумовлених вираженим варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та специфічними дегенеративно-дистрофічними змінами кістково-хрящових структур медіального компартменту колінного суглоба. Специфічними відмінностями морфотипу II визначали переважно варусне відхилення осі нижньої кінцівки та асоційовані зміни корональної геометрії дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки. Морфотип III відрізнявся нейтральним положенням

осі нижньої кінцівки, структурними змінами сагітальної морфології медіального компартменту колінного суглоба та переважним ураженням стегново-надколінкового зчленування. Особливостями морфотипу IV вважали вальгусне відхилення осі нижньої кінцівки, багатоплощинні деформації дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки, асоційовані зі змінами структури та положення надколінка. Слід підкреслити, що наведені характеристики морфотипів колінних суглобів, які визначено на поточному етапі дослідження, будуть більш детально уточнені в подальшому, оскільки аналіз морфотип-специфічних особливостей перебігу дегенеративно-дистрофічного процесу продовжується. Більш детально характеристика кластерів, а також відмінностей положення надколінка у сформованих морфотипах відображена у наших попередніх працях [10, 11].

Серед рентгенографічних критеріїв, визначених у сагітальній площині оцінювали:

- задній дистальний кут стегнової кістки (Posterior Distal Femoral Angle, PDFA) – кут, утворений між анатомічною віссю стегнової кістки та дистальною стегною лінією орієнтації суглоба. Референтними вважали значення кута PDFA в діапазоні 79–87° [12];

- індекс заднього виросткового зсуву (Posterior Condylar Offset Ratio, PCOR) – вираховували як відношення відстані між вертикальними лініями, зокрема лінією, проведеною вздовж задньої кортикальної поверхні стегнової кістки та лінією, що проходить через найбільш виступаючу точку задньої поверхні виростка до відстані, визначеної від передньої кортикальної поверхні стегнової кістки до найбільш виступаючої точки задньої поверхні виростка. Референтний показник індексу визначали на рівні 0,44;

- задній нахил плато великогомілкової кістки (Posterior Tibial Slope, PTS) – кут між лінією, дотичною до проксимальної суглобової поверхні великогомілкової кістки, та лінією, перпендикулярною до анатомічної осі її діафіза. Референтними вважали показники кута PTS в межах 3–8° [13].

Окрім загальноприйнятих параметрів, здійснено оцінювання морфометричних показників проксимального відділу великогомілкової кістки, розроблених у рамках цього дослідження:

- горбистісно-модифікований тібіальний нахил (Tuberosity-Modified Tibial Slope, TMTS) – кут між горизонтальною лінією, проведеною вздовж проксимальної суглобової поверхні великогомілкової кістки, та косою лінією, що проходить через найбільш виступаючі точки горбистості та заднього відділу плато великогомілкової кістки;

- кут інфлексії горбистості великогомілкової кістки (Tibial Tuberosity Inflection Angle, TTIA) – це кут, утворений між лініями, проведеними вздовж передньої кортикальної поверхні великогомілкової кістки у проксимальному та дистальному напрямках, які перетинаються в точці найбільшого виступу горбистості великогомілкової кістки.

Враховували зв'язок між досліджуваними показниками сагітальної морфології та значеннями стегново-гомілкового кута (FTA), який визначали у фронтальній площині як кут між анатомічними осями стегнової та великогомілкової кісток [13]. Додатково аналізували прогностичну цінність визначених

параметрів щодо ідентифікації встановлених морфотипів колінних суглобів при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях.

Вимірювання морфометричних параметрів здійснено двома незалежними спостерігачами. Для оцінювання узгодженості вимірювань між спостерігачами використовували коефіцієнт внутрішньокласової кореляції (ICC) за двонаправленою моделлю зі змішаними ефектами з абсолютною відповідністю. Значення ICC варіювали в діапазоні 0,85–0,96. Отже, отримані результати вимірювань вважали надійними.

Етичне схвалення. Дослідження виконували з дотриманням етичних принципів Гельсінкської декларації Всесвітньої медичної асоціації (ВМА) – Етичні принципи медичних досліджень за участю людини (Сьомий перегляд, прийнятий на 64 Генеральній асамблеї ВМА, Форталеза, Бразилія, жовтень 2013 року) [14], Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (м. Ов'єдо, Іспанія, 4 квітня 1997 року) [15], а також відповідно до чинних національних етичних стандартів [16]. Дослідження було проведено згідно з принципами біоетики і затверджено Комітетом з біоетики Медичного центру «Angels Clinic», м. Вінниця (протокол від 15.07.2025 року № 3). Усі учасники поінформовані щодо участі у дослідженні, що засвідчено письмовими інформованими згодами. Персональні дані обстежених хворих знеособлені для забезпечення конфіденційності.

Достовірність даних та статистичний аналіз. Статистичний аналіз цифрових показників здійснювали з використанням програмного засобу Statistica 13. Для оцінювання та аналізу кількісних даних застосовували методи описової статистики. Кількісні змінні подано як «середнє значення $\pm$ стандартне відхилення» ($M \pm SD$), категоріальні – як «абсолютна кількість спостережень (n) та відповідне відсоткове співвідношення» (%). При порівнянні показників незалежних груп використовували непараметричний статистичний критерій Краскела–Волліса, функціональний зв'язок між змінними оцінювали за допомогою коефіцієнта рангової кореляції t -Кендала. Прогностичну цінність параметрів сагітальної морфології у визначенні морфотипу колінного суглоба, ураженого дегенеративно-дистрофічним процесом, оцінювали на основі статистичної моделі бінарної логістичної регресії, розраховуючи відношення шансів (OR) та 95 % довірчих інтервалів (CI). Вірогідність безпомилкового прогнозу визначали при $p \leq 0,05$.

Результати

Середнє значення кута FTA в обстежених становило $177,09 \pm 5,57^\circ$. Середній показник кута FTA у хворих з морфотипом I відповідав варусному відхиленню осі нижньої кінцівки – $169,76 \pm 1,48^\circ$. Варусне відхилення осі зафіксовано й у пацієнтів з морфотипом II, середній показник кута FTA яких становив $175,58 \pm 1,32^\circ$. У обстежених з морфотипом III середнє значення кута FTA становило $180,14 \pm 1,49^\circ$, що відповідало нейтральному положенню осі нижньої кінцівки. В осіб з морфотипом IV середній показник кута становив $187,33 \pm 3,75^\circ$ та відповідав вальгусному відхиленню осі. При порівнянні значень кута FTA у сформованих групах доведено статистично значущу відмінність ($p < 0,0001$).

Таблиця 1. Характеристика морфологічних показників дистального відділу стегнової кістки

Параметр	Варіанти морфотипів колінного суглоба				p
	I, n = 11	II, n = 25	III, n = 19	IV, n = 7	
PDFA	89,27 ± 1,79°	87,20 ± 4,50°	83,11 ± 4,33°	75,43 ± 2,64°	<0,00001*
<78°	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	3 (15,79 %)	7 (100,00 %)	<0,00001*
79-87°	0 (0,00 %)	10 (40,00 %)	12 (63,16 %)	0 (0,00 %)	0,001*
>88°	11 (100,00 %)	15 (60,00 %)	4 (21,05 %)	0 (0,00 %)	<0,00001*
PCOR	0,45 ± 0,05	0,44 ± 0,10	0,45 ± 0,07	0,39 ± 0,06	0,14
<0,44	3 (27,27 %)	6 (24,00 %)	11 (57,89 %)	5 (71,43 %)	0,03*
0,44	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	1,00
>0,44	8 (72,73 %)	19 (76,00 %)	8 (42,11 %)	2 (28,57 %)	0,03*

*: доведено статистично значущу відмінність показників при $p \leq 0,05$.

Таблиця 2. Характеристика морфологічних показників проксимального відділу великогомілкової кістки

Параметр	Варіанти морфотипів колінного суглоба				p
	I, n = 21	II, n = 38	III, n = 29	IV, n = 12	
PTS	11,82 ± 4,00°	9,72 ± 4,72°	7,58 ± 2,91°	5,86 ± 1,46°	0,01*
<3°	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	1 (5,26 %)	0 (0,00 %)	0,52
3-8°	2 (18,18 %)	13 (52,00 %)	9 (47,37 %)	7 (100,00 %)	0,01*
>8°	9 (81,82 %)	12 (48,00 %)	9 (47,37 %)	0 (0,00 %)	0,01*
TMTS	35,36 ± 3,78°	34,92 ± 7,17°	37,45 ± 5,78°	41,14 ± 5,52°	0,045*
TTIA	157,91 ± 8,81°	158,62 ± 5,90°	162,74 ± 6,07°	165,57 ± 4,31°	0,008*

*: доведено статистично значущу відмінність показників при $p \leq 0,05$.

Аналізуючи морфологічні показники дистального відділу стегнової кістки, визначені в сагітальній площині, встановлено, що середнє значення кута PDFA у обстежених становило $84,98 \pm 5,62^\circ$. Найвищі значення досліджуваного кута зафіксовано у пацієнтів з морфотипами I та II, найнижчі – у хворих з морфотипом IV, в осіб з морфотипом III спостерігали проміжні значення показника (табл. 1). У результаті порівняння значень кута PDFA з урахуванням визначеного морфотипу колінного суглоба доведено їх статистично значущу відмінність. Крім того, між значеннями кутів PDFA та FTA встановлено достовірний зворотний значний кореляційний зв'язок ($r = -0,56$; $p < 0,0000001$), що свідчить про вищі значення кута PDFA у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки.

Значення кута PDFA <78° спостерігали у 10 (16,13 %) обстежених, зокрема у всіх пацієнтів з морфотипом IV та 15,79 % осіб з морфотипом III колінного суглоба. У групах хворих з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та відповідно морфотипами I та II досліджувані показники не спостерігали. У результаті порівняння частотних показників у сформованих групах доведено їх статистично значущу відмінність.

Показники кута PDFA 79–87°, які відповідали референтним значенням, зафіксовано у 22 (35,48 %) хворих групи. Зазначені показники встановлено у більшості обстежених з

морфотипом III та 40,00 % хворих з морфотипом II, натомість в осіб з морфотипами I та IV значення кута PDFA в діапазоні 79–87° не спостерігали, відмінність статистично значуща.

У більшості пацієнтів групи – 30 (48,39 %) – зафіксовано значення показника PDFA >88°. Підвищені показники кута PDFA спостерігали у всіх пацієнтів з морфотипом I та більшості обстежених з морфотипом II; крім того, значення показника PDFA >88° встановлено у 21,05 % хворих з морфотипом III (рис. 1). У пацієнтів з морфотипом IV значення кута PDFA >88° не визначено у жодному випадку. У результаті порівняння показників у групах, сформованих з урахуванням морфологічних особливостей структури колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях, доведено статистично значущу відмінність.

Середнє значення індексу PCOR в обстежених становило $0,44 \pm 0,08$. Значущої відмінності показників індексу у сформованих групах не встановлено. Проте доведено, що вищі значення індексу PCOR асоційовані з достовірно нижчими показниками кута FTA ($r = -0,17$, $p = 0,046$), що свідчить про більше зміщення виростків стегнової кістки дозад у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки.

Показники індексу PCOR <0,44 встановлено у 25 (40,32 %) обстежених групи. Зазначені показники спостерігали у



Рис. 1. Рентгенограма лівого колінного суглоба хворого С., 65 років. Морфотип I колінного суглоба. PDFA – 89,9°. PTS – 11,7°. AL – додатковий кут, що відображає анатомічну вісь діафіза великогомілкової кістки та проведений до неї перпендикуляр.



Рис. 2. Рентгенограма правого колінного суглоба хворого Л., 43 роки. Морфотип II колінного суглоба. PCOR A:B=10,23:22,19=0,46. TMTS – 34,9°. TTIA – 158,5°.

переважної більшості пацієнтів з морфотипами колінного суглоба IV та III. У переважної більшості пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та відповідно морфотипами I та II встановлено значення PCOR $>0,44$, які фіксували у 37 (59,68 %) хворих групи (рис. 2). Значення індексу PCOR = 0,44, що відповідав референтному показнику, не встановлено в жодному випадку. Відмінність частотних показників PCOR $<0,44$ та $>0,44$ з урахуванням морфологічних особливостей структури колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях статистично значуща.

Наступним етапом оцінювали морфологічні показники проксимального відділу великогомілкової кістки, визначені в сагітальній площині, отримані цифрові дані наведено в таблиці 2.

Середній показник кута PTS в обстежених становив $9,00 \pm 4,18^\circ$. Найвищі значення кута встановлено у пацієнтів

з морфотипами I та II, в осіб з морфотипами III та IV середні показники кута PTS відповідали референтному діапазону, відмінність статистично значуща. Доведено, що наявність вищих значень кута PTS достовірно асоційована з нижчими показниками кута FTA та, відповідно, варусними відхиленнями осі нижньої кінцівки ($t = -0,32$, $p = 0,0002$).

Кут PTS $<3^\circ$ зафіксовано в 1 (1,61 %) обстеженого групи, який мав морфотип III, у пацієнтів решти груп показники кута PTS нижче референтних значень не спостерігали, відмінність частотних показників недостовірною. Значення кута PTS $3-8^\circ$ зафіксовано у 31 (50,00 %) пацієнта. Зазначені показники встановлено у всіх пацієнтів з морфотипом IV, більшості хворих з морфотипами II та III, а також 18,18 % обстежених з морфотипом I, відмінність статистично значуща (рис. 3).

Показники кута PTS $>8^\circ$ спостерігали у 30 (48,39 %) обстежених. Значення кута вище референтних зафіксовано

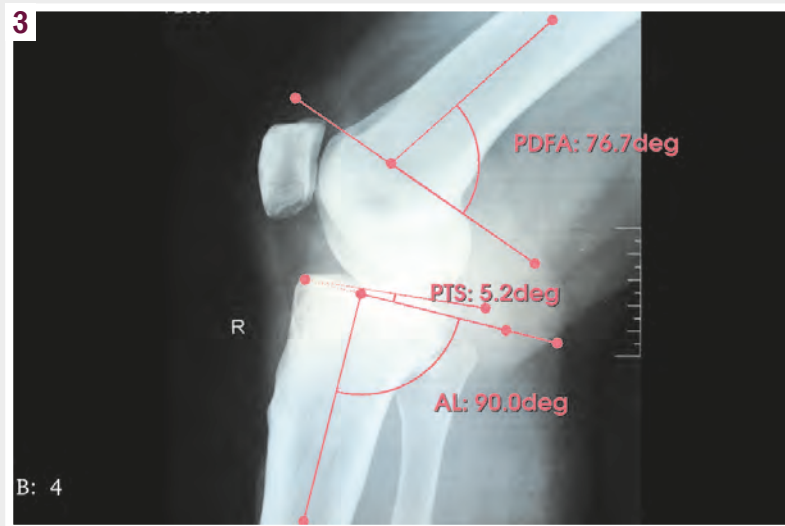


Рис. 3. Рентгенограма лівого колінного суглоба хворої С., 73 роки. Морфотип IV колінного суглоба. PDFa – 76,7°. PTS – 5,2°. AL – додатковий кут, що відображає анатомічну вісь діафіза великогомілкової кістки та проведений до неї перпендикуляр.



Рис. 4. Рентгенограма лівого колінного суглоба хворого Л., 43 роки. Морфотип III колінного суглоба. PCOR A:B=9,20:21,72=0,42. TMTS – 37,4°. TTIA – 162,6°.

у переважної більшості пацієнтів з морфотипом I, а також значної частки осіб з морфотипами II та III. У пацієнтів з морфотипом IV колінного суглоба та вальгусним відхиленням осі нижньої кінцівки подібні значення не встановлено. При порівнянні частотних показників у сформованих групах доведено статистично значущу відмінність.

Середнє значення кута TMTS в обстежених становило $36,48 \pm 6,28^\circ$. Найвищі значення кута зафіксовано у пацієнтів з морфотипом IV, найменші – в обстежених з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та відповідно морфотипами II та I, в обстежених з морфотипом III фіксували проміжні значення, відмінність показників статистично значуща. Крім того, між показниками кута TMTS та значеннями кута FTA доведено наявність прямого слабкого кореляційного зв'язку, що свідчить про вищі значення кута TMTS в обстежених з вальгусним відхиленням осі нижньої кінцівки ($t = +0,18$, $p = 0,04$).

Аналізуючи значення кута TTIA встановлено, що його середній показник в обстежених становив $160,54 \pm 6,81^\circ$. Найвищі значення кута зафіксовано у пацієнтів з морфотипом IV, найнижчі показники спостерігали в обстежених з морфотипами I та II, у хворих з морфотипом III фіксували проміжні значення, відмінність результатів статистично значуща (рис. 4). Достовірно вищі значення кута FTA зафіксовано у пацієнтів з вищими показниками кута FTA та, відповідно, вальгусними відхиленнями осі нижньої кінцівки ($t = +0,30$, $p = 0,0007$).

Аналізуючи прогностичну цінність морфологічних показників дистального відділу стегнової кістки, визначених у сагітальній площині, щодо оцінювання морфологічних особливостей структури колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях, достовірно вищі шанси формування морфотипу III доведено у пацієнтів з гонартрозом зі значеннями кута PDFa $79\text{--}87^\circ$ (табл. 3). Натомість в

Таблиця 3. Прогностична цінність морфологічних показників дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки

Параметр	Варіанти морфотипів колінного суглоба			
	I	II	III	IV
PDFA				
<78°	p = 0,04	p = 0,0007	p = 0,96	p < 0,00000001
79-87°	p = 0,001	p = 0,54	p = 0,003 OR = 5,66 CI (1,71-18,68)	p = 0,01
>88°	p = 0,00002	p = 0,13	p = 0,003 OR = 0,17 CI (0,05-0,63)	p = 0,001
PCOR				
<0,44	p = 0,32	p = 0,03 OR = 0,30 CI (0,10-0,94)	p = 0,06	p = 0,08
0,44	p = 1,00	p = 1,00	p = 1,00	p = 1,00
>0,44	p = 0,32	p = 0,03 OR = 3,34 CI (1,06-10,50)	p = 0,06	p = 0,08
PTS				
<3°	p = 0,53	p = 0,31	p = 0,12	p = 0,62
3-8°	p = 0,02 OR = 0,17 CI (0,03-0,89)	p = 0,80	p = 0,78	p = 0,001
>8°	p = 0,01 OR = 6,43 CI (1,22-33,95)	p = 0,96	p = 0,92	p = 0,001

обстежених зі значеннями кута PDFA >88° доведено нижчі шанси розвитку морфотипу III колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях.

Наявність показників PCOR <0,44 асоційована з достовірною нижчими шансами формування морфотипу II, натомість у пацієнтів з гонартрозом зі значеннями відношення PCOR >0,44 доведено достовірно вищі шанси розвитку цього морфотипу колінного суглоба.

Оцінюючи роль морфологічних показників проксимального відділу великогомілкової кістки у прогнозуванні морфотипу колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях, доведено, що наявність значень кута PTS >8° достовірно підвищує шанси формування морфотипу I. Натомість, у пацієнтів зі значеннями PTS, що відповідають референтним показникам, зафіксовано достовірно нижчі шанси розвитку морфотипу I колінного суглоба при гонартрозі.

Обговорення

У результаті аналізу морфологічних показників дистального відділу стегнової та проксимального відділу великогомілкової кісток у сагітальній площині визначено характерні зміни, пов'язані з положенням осі нижньої кінцівки та морфо-

типами колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях.

У пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та морфотипами колінного суглоба I та II спостерігали збільшення значень кута PDFA, зумовлене переважно зміщенням горизонтальної осі, проведеної через виростки стегнової кістки донизу. У пацієнтів з нейтральним положенням осі та морфотипом III у більшості випадків спостерігали збереження положення виростків стегнової кістки відповідно до референтних значень. На противагу цьому, у хворих з морфотипом IV та відповідно вальгусним відхиленням осі нижньої кінцівки, зафіксовано зміщення осі, проведеної через виростки, догори та зменшення значень кута PDFA.

Отримані нами дані узгоджуються з результатами дослідження D. Yang, et al., у яких подано аналіз рентгенівських знімків 105 колінних суглобів з вальгусним положенням осі нижньої кінцівки. Дослідники встановили структурні порушення, локалізовані переважно в ділянці плато великогомілкової кістки у 48 (45,7 %) обстежених, у 62 (59,0 %) випадків – деформацію супраконділярної ділянки стегнової кістки. Як відзначили D. Yang et al., супраконділярна деформація стегнової кістки (тип F2) вважалася найбільш частим варіантом структурного порушення при вальгусному положенні осі

нижньої кінцівки, що підтверджено й результатами поданого нами дослідження [17]. Зокрема деформацію супраконділярної ділянки стегнової кістки спостерігали у переважної більшості обстежених нами хворих – 48,39 %, у тому числі у всіх обстежених з морфотипом IV та, відповідно, вальгусними положеннями осі нижньої кінцівки.

Вищі значення показника PCOR $>0,44$, які фіксували у переважної більшості обстежених з морфотипами колінного суглоба I та II, свідчили про вищий ризик пошкодження передньої схрещеної зв'язки у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки. Натомість у пацієнтів з морфотипами III та IV спостерігали у більшості випадків значення PCOR $<0,44$, пов'язані з обмеженнями згинання у колінному суглобі.

Встановлені нами морфологічні показники проксимального відділу великогомілкової кістки, визначені в сагітальній площині, узгоджуються з відомими даними. У ретроспективному когортному дослідженні L. Xin et al. дослідниками подано аналіз клініко-рентгенологічних даних 120 пацієнтів з остеоартритом колінного суглоба. До групи включено 38 чоловіків та 82 жінки віком від 58 до 78 років (середній вік – 65,7 року). З урахуванням техніки запропонованого втручання серед обстежених сформовано 2 групи досліджень: 60 пацієнтам виконано тотальне ендопротезування колінного суглоба за методикою з орієнтиром на горбистість великогомілкової кістки, 60 обстеженим – з урахуванням особливостей діапазону рухів. Середній показник PTS у хворих, яким застосовували методику з орієнтиром на горбистість великогомілкової кістки, становив $8,6 \pm 1,7^\circ$, $9,1 \pm 2,3^\circ$ – у групі пацієнтів, яким застосовували техніку з фокусом на особливості діапазону рухів [18].

Дещо вищі значення кута зафіксовано у праці S. K. Saidapur et al. Аналізуючи рентгенограми колінних суглобів 153 пацієнтів з ранніми ознаками остеоартриту (I–II ст. за Kellgren-Lawrence), автори праці визначили, що середній показник PTS становив $11,5 \pm 1,34^\circ$ (діапазон $7\text{--}13^\circ$). Дослідники дійшли висновку, що у пацієнтів з раннім остеоартритом кут PTS був вищим, порівняно з відомими нормальними значеннями для індійського населення [19].

Відмінність показників розглянутих вище досліджень зумовлена варіабельністю значень PTS у представників різних етнічних груп. До прикладу, PTS в американців становить $9,90 \pm 3,84^\circ$, натомість у китайців – $13,30 \pm 3,16^\circ$ [20]. У популяції населення Німеччини показник PTS становить $4\text{--}7^\circ$, середній показник у японській популяції становить 11° , у населення Саудівської Аравії – $5,8\text{--}6,6^\circ$, у представників населення Східної Африки – 7° [21]. У літературі не вдалося знайти масштабних популяційних досліджень щодо вивчення зазначеного показника в Україні, тому значення притаманні нашій популяції достеменно невідомі.

Аналізуючи морфологічні показники проксимального відділу великогомілкової кістки з урахуванням визначеного структурного варіанта колінного суглоба, у пацієнтів з морфотипом I встановлено найвищі показники кута PTS. Наявність вищих значень PTS асоційована з вищим ризиком пошкодження передньої схрещеної зв'язки, що додатково підтверджено показниками PCOR хворих з морфотипом I. Вказані зміни зумовлені відхиленням осі, проведеної через виростки великогомілкової кістки, донизу. Натомість у більшості обстежених

з морфотипами II, III та IV значення кута PTS відповідали референтним показникам. Значення кута PTS $<3^\circ$ реєстрували лише в одного пацієнта з нейтральним положенням осі нижньої кінцівки, достовірного впливу зазначеного показника щодо розвитку морфологічних особливостей структури колінного суглоба не встановлено.

У пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки спостерігали нижчі значення кута TMTS, що зумовлено відхиленням осі, проведеної через виростки великогомілкової кістки, донизу, що додатково підтверджує результати, отримані при аналізі показників кута PTS. Слід відзначити дещо вищі значення кута TMTS у пацієнтів з морфотипом I, порівняно з показниками хворих з морфотипом II, що може свідчити про більш виражене руйнування хрящової та кісткової тканини у хворих зі збільшенням варусного відхилення осі нижньої кінцівки.

Крім того, у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки та морфотипами колінного суглоба I та II зафіксовано нижчі значення кута TTIA, що свідчить про зміщення осі діафізу великогомілкової кістки допереду. Вказані зміни додатково підтверджують вищий ризик пошкодження передньої схрещеної зв'язки у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки, що може бути обґрунтовано збільшенням натягу зв'язки при зміщенні великогомілкової кістки допереду та узгоджується з показниками PCOR, PTS, TMTS обстежених з морфотипом I. Натомість в осіб з морфотипом IV колінного суглоба вищі значення кута TTIA вказують на зміщення осі діафізу великогомілкової кістки дозад.

Встановлені нами результати щодо зміщення великогомілкової кістки допереду та вищого ризику ушкодження передньої схрещеної зв'язки при збільшенні значень PTS зіставні з даними Y. Hirata et al. Дослідники вивчали особливості кута PTS у здоровому колінному суглобі у положенні стоячи на одній нозі. Авторами праці обстежено 100 пацієнтів, з яких 53 особи мали ушкодження передньої схрещеної зв'язки в анамнезі та 47 – здорові обстежені контрольної групи. До групи включено 56 чоловіків та 44 жінки. Середній вік обстежених становив $23,6 \pm 0,8$ року (діапазон $13\text{--}40$ років). Дослідники аналізували такі рентгенологічні параметри здорового колінного суглоба, як кут розгинання в коліні (EXT), кут PTS, кут PTS щодо горизонтальної лінії (PTS-H), передній нахил діафізу стегнової кістки відносно вертикальної осі (FAT), передній нахил діафізу великогомілкової кістки відносно вертикальної осі (TAT). Середні показники визначених рентгенографічних параметрів становили EXT – $2,4 \pm 6,2^\circ$, PTS – $9,5 \pm 3,0^\circ$, PTS-H – $8,1 \pm 3,9^\circ$, FAT – $3,8 \pm 4,7^\circ$, TAT – $1,4 \pm 4,2^\circ$. Автори праці встановили зворотний кореляційний зв'язок між значеннями PTS та показниками EXT (для всіх обстежених: $r = -0,58$, $p < 0,001$, у групі з пошкодженням передньої схрещеної зв'язки: $r = -0,51$, $p < 0,001$ та контрольній групі: $r = -0,64$, $p < 0,001$). На противагу цьому автори праці довели пряму залежність між показниками PTS та TAT (для всіх обстежених: $r = 0,46$, $p < 0,001$, у групі з травмою передньої схрещеної зв'язки: $r = 0,38$, $p = 0,005$, контрольній групі: $r = 0,52$, $p < 0,001$). В обстежених з травмою передньої схрещеної зв'язки, порівняно з показниками групи контролю, спостерігали суттєво вищі значення EXT ($3,9 \pm 5,3^\circ$ порівня-

но з $0,7 \pm 6,8^\circ$, $p = 0,001$) та нижчі показники ТАТ ($0,6 \pm 4,0^\circ$ порівняно з $2,3 \pm 4,4^\circ$, $p = 0,045$). Дослідники відзначили вищі значення кута згинання в колінному суглобі у пацієнтів з більшими значеннями PTS. Вказані зміни, на думку авторів праці, зумовлені переднім нахилом великогомілкової кістки та пов'язані зі зменшенням сили, що призводить до її зміщення. Натомість у хворих з пошкодженнями передньої схрещеної зв'язки спостерігали вищі значення EXT у положенні стоячи, що, як відзначили дослідники, пов'язано з вищим ризиком зміщення гомілки допереду [22].

Крім того, ризик розриву передньої схрещеної зв'язки, враховуючи значення PTS, досліджено у праці B. Mas Matas et al., де подано аналіз результатів клініко-інструментального обстеження 416 пацієнтів. Дослідниками сформовано 3 клінічні групи. До першої групи включено 63 (15,1 %) пацієнтів з ушкодженням передньої схрещеної зв'язки, до другої – 71 (17,1 %) хворого з діагностованим ушкодженням меніска, до третьої – 282 (77,8 %) здорових обстежених. Серед морфологічних показників оцінювали PTS, визначений на бічних рентгенограмах, та MPTS, LPTS, виміряні на магнітно-резонансних томограмах. Згідно з результатами дослідження, середній показник PTS становив $6,75 \pm 3,18^\circ$ (діапазон $0-17^\circ$), MPTS – $5,66 \pm 2,98^\circ$ (діапазон $0-14^\circ$), LPTS – $5,69 \pm 3,5^\circ$ (діапазон $0-16^\circ$). Дослідниками не доведено значущого зв'язку між значеннями PTS, MPTS, LPTS та вищим ризиком розриву передньої схрещеної зв'язки. Проте науковці відзначили нижчий ризик пошкодження зв'язки за наявності вищих значень MPTS (OR = 0,869, CI (0,778–0,972)). До того ж авторами праці встановлено значущий зв'язок між розривом передньої схрещеної зв'язки та надмірними значеннями PTS у пацієнтів з травматичним генезом пошкодження [23].

На противагу цьому, згідно з результатами низки біомеханічних досліджень, наведеними у праці R. S. Deap et al., підтверджено лінійне зростання показників напруження передньої схрещеної зв'язки зі збільшенням значень PTS, а також асоційоване зміщення великогомілкової кістки відносно стегнової допереду, що узгоджується з отриманими нами даними [24].

Водночас, як відзначили Y. Chen et al., збільшення кута PTS зумовлює зміщення осьового вектора навантаження з передньої частини великогомілкової кістки назад, що своєю чергою призводить до дорсального зсуву контактної зони між платформою великогомілкової кістки та виростками стегнової кістки. Зазначена зміна розподілу сил збільшує тиск на задню частину тібіального плато. Збільшення відстані між точками кріплення передньої схрещеної зв'язки на стегновій та великогомілковій кістках призводить до вищого натягу зв'язки, що може сприяти розвитку передньо-задньої нестабільності колінного суглоба та збільшити ризик її травми. На противагу цьому, зменшення PTS зумовлює вентральне зміщення напрямку осьового вектора навантаження, що посилює тиск на передню частину плато великогомілкової кістки. У подібних випадках відстань між точками кріплення задньої схрещеної зв'язки на стегновій і великогомілковій кістках зменшується, що асоційовано з її вищим натягом [25].

Додатково підтверджують отримані нами результати дані проспективного дослідження B. Springer et al. Авторами праці

проаналізовано 100 рентгенограм колінних суглобів 84 пацієнтів з остеоартритом та варусним відхиленням осі нижньої кінцівки. Після застосування критеріїв відбору дослідниками наведено дані 79 колінних суглобів. У 11 (14 %) випадках відзначили наявність функціональної недостатньої передньої схрещеної зв'язки, у 68 (86 %) зв'язка була інтактною. Автори праці встановили більш виражену варусну деформацію та більш виражену тибіофemorальну сублюксацію в корональній площині (CTFS) в обстежених з функціональною недостатністю передньої схрещеної зв'язки при остеоартриті колінного суглоба з варусною деформацією. Зокрема, у 73 % (8 з 11) випадків функціональної недостатності передньої схрещеної зв'язки варусна деформація становила $\geq 10^\circ$, а в 64 % (7 з 11) – CTFS ≥ 6 мм. Для порівняння, лише один пацієнт (2 %, 1 з 41) з функціональною недостатньою передньої схрещеної зв'язки мав варусну деформацію $< 10^\circ$ та CTFS < 6 мм. Дослідники дійшли висновку, що наявність варусу $\geq 10^\circ$ та CTFS ≥ 6 мм свідчить про високу ймовірність функціональної недостатності передньої схрещеної зв'язки при остеоартриті колінного суглоба з варусним положенням осі нижньої кінцівки [26].

Зважаючи на отримані нами результати, у пацієнтів з варусним відхиленням осі нижньої кінцівки провідними морфологічними чинниками змін при остеоартриті колінного суглоба є відхилення осі, проведеної через виростки стегнової кістки, донизу та асоційоване збільшення показників PDFA, PCOR, а також зміщення осі, проведеної через виростки великогомілкової кістки, донизу, що зумовлює зменшення значень кута TMTS та збільшення значень кута PTS. Усі зазначені трансформації свідчать про вищий ризик пошкодження передньої схрещеної зв'язки в обстежених з варусним положенням осі нижньої кінцівки та відповідно морфотипами I та II колінного суглоба. Крім того, зміщення осі діафізу великогомілкової кістки допереду у пацієнтів з варусним відхиленням, що підтверджують низькі значення TTIA, створює додаткові умови для надмірного натягу передньої схрещеної зв'язки та її пошкодження.

Натомість у хворих з вальгусним положенням осі та відповідно морфотипом IV спостерігали зміни, зумовлені зміщенням осі, проведеної через виростки стегнової кістки догори, та відповідно зменшення значень кута PDFA та PCOR, а також вищі значення кута TMTS та нижчі показники кута PTS, зумовлені відхиленням осі, проведеної через виростки великогомілкової кістки, догори. Морфологічні особливості колінного суглоба у хворих із морфотипом IV свідчать про іншу вісь навантаження і потенційно інший механізм дегенеративних змін. Для морфотипу IV характерні вищі значення TTIA та відповідно зміщення осі діафізу назад, що пов'язано з меншим ризиком перенапруження передньої схрещеної зв'язки та вищим натягом задньої схрещеної зв'язки.

Одним із обмежень поданого дослідження вважаємо нерівномірну кількість рентгенограм колінних суглобів, виконаних у прямій ($n = 100$) та боковій проєкціях ($n = 62$). Рентгенографія колінних суглобів у передньо-задній проєкції є стандартом рентгенологічного обстеження при гонартрозі; знімки, виконані в боковій проєкції, бажані для кращої інтерпретації ознак дегенеративно-дистрофічного процесу, проте їх виконують вибірково. Наявність меншої кількості знімків, здійснених у боковій проєкції, у нашій вибірці є очікуваною

і відображає типову ситуацію у клінічній практиці. Під час кластеризації та подальшого аналізу всі морфометричні параметри оцінювали в обсязі, доступному для кожного пацієнта. Подібну нерівномірність у структурі даних вважаємо не критичною, проте її враховували при інтерпретації результатів. Ще одним обмеженням розглядаємо можливу варіативність якості рентгенограм, зумовлену потенційними відмінностями методики виконання знімків різними фахівцями в різних медичних закладах. Незначні відхилення від стандартної проєкції могли вплинути на точність морфометричних вимірювань та знизити рівень стандартизації дослідження. Втім з метою мінімізації цього впливу під час аналізу оцінювали переважно значення кутів та співвідношень, а не абсолютних довжин, що дало змогу частково нівелювати вказане обмеження.

Незважаючи на це, у результаті комплексного морфометричного аналізу ідентифіковано ключові біомеханічні маркери, що характеризують особливості дегенеративних змін та ризики ушкодження зв'язкового апарату залежно від морфотипу колінного суглоба та положення осі нижньої кінцівки. Отримані нами дані доповнюють попередні висновки про взаємозв'язок морфології кісткових структур із функціональним станом зв'язкового апарату.

Зважаючи на доведену значущу відмінність морфологічних характеристик колінного суглоба, визначених у сагітальній площині, з урахуванням структурного варіанта суглоба, визначеного за власною кластерною системою, нульова гіпотеза дослідження відхилена.

Висновки

1. У результаті проведеного дослідження визначено відмінності сагітальної морфології колінних суглобів при остеоартриті залежно від морфотипу, визначеного за власною кластерною системою. У групах, сформованих з урахуванням структурного варіанта колінного суглоба, доведено статистично значущу відмінність значень морфометричних параметрів дистального відділу стегнової кістки – PDFA ($p < 0,00001$) та проксимального відділу великогомілкової кістки – PTS ($p = 0,01$), TMTS ($p = 0,045$), TTIA ($p = 0,04$).

2. В обстежених з морфотипами I та II колінного суглоба встановлено високі значення PDFA, PCOR, PTS, які перевищували референтні у більшості випадків, та низькі показники TMTS і TTIA. На противагу цьому, у пацієнтів з морфотипом IV спостерігали протилежні морфологічні зміни – нижчі значення PDFA, PCOR, PTS та вищі показники TMTS і TTIA. В обстежених з морфотипом III досліджувані морфометричні показники переважно відповідали референтному діапазону.

3. Аналізуючи прогностичну цінність параметрів сагітальної морфології щодо визначення морфотипу колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях, достовірно вищі шанси формування морфотипу I доведено за наявності значень кута PTS $> 8^\circ$ (OR = 6,43, CI (1,22–33,95), $p = 0,01$), морфотипу II – при показниках відношення PCOR $> 0,44$ (OR = 3,34, CI (1,06–10,50), $p = 0,03$), морфотипу III – у випадку встановлених значень кута PDFA, що відповідали референтному діапазону $79\text{--}87^\circ$ (OR = 5,66, CI (1,71–18,68), $p = 0,003$).

4. Отримані результати свідчать про морфотип-специфічний характер структурних змін при остеоартриті колінного суглоба, що є потенційною передумовою вдосконалення персоналізованого підходу при плануванні ортопедичних втручань.

Перспективи подальших досліджень. Встановлені відмінності сагітальної морфології колінних суглобів підкреслюють доцільність подальшого аналізу особливостей біомеханіки колінного суглоба, враховуючи його структурний варіант. Перспективним напрямом є клінічне дослідження частоти та структури ушкоджень зв'язкового апарату з урахуванням індивідуальних анатомо-біомеханічних факторів. Отримані дані дадуть змогу вдосконалити персоналізований підхід до позиціонування імплантатів під час реконструктивних втручань при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях колінного суглоба.

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Відомості про авторів:

Блонський Р. І., д-р мед. наук, головний науковий співробітник клініки спортивної та балетної травми, ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України»; професор каф. хірургії № 2, Приватний вищий навчальний заклад «Київський медичний університет», лікар ортопед-травматолог вищої категорії, м. Київ, Україна.
ORCID ID: 0000-0003-2310-6345

Килимнюк Л. О., докторка філософії, лікарка ортопед-травматолог, Медичний центр «Angels Clinic», м. Вінниця, Україна.
ORCID ID: 0000-0003-0170-8708

Information about the authors:

Blonskyi R. I., MD PhD, DSc, Senior Researcher at the Clinic of Sports and Ballet Injuries, SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine"; Professor of Surgery Department No. 2, Private Higher Educational Establishment "Kyiv Medical University", Orthopedic and Trauma Surgeon of the highest qualification category, Kyiv, Ukraine.

Kylymniuk L. O., MD, PhD, Orthopedic and Trauma Surgeon, Medical Centre "Angels Clinic", Vinnytsia, Ukraine.



Любов Килимнюк (Liubov Kylymniuk)
kylymniuk@gmail.com

References

- Giorgino R, Albano D, Fusco S, Peretti GM, Mangiavini L, Messina C. Knee Osteoarthritis: Epidemiology, Pathogenesis, and Mesenchymal Stem Cells: What Else Is New? An Update. *Int J Mol Sci.* 2023;24(7):6405. doi: 10.3390/ijms24076405
- Jang S, Lee K, Ju JH. Recent Updates of Diagnosis, Pathophysiology, and Treatment on Osteoarthritis of the Knee. *Int J Mol Sci.* 2021;22(5):2619. doi: 10.3390/ijms22052619
- Primorac D, Molnar V, Rod E, Jeleč Ž, Čukelj F, Matišić V, et al. Knee Osteoarthritis: A Review of Pathogenesis and State-Of-The-Art Non-Operative Therapeutic Considerations. *Genes (Basel).* 2020;11(8):854. doi: 10.3390/genes11080854
- Wang Y, Lu J, Wang Z, Li Z, Pan F, Zhang M, et al. The association between patella alignment and morphology and knee osteoarthritis. *J Orthop Surg Res.* 2024;19(1):509. doi: 10.1186/s13018-024-05001-6
- Ly Y, Sui L, Lv H, Zheng J, Feng H, Jing F. Burden of knee osteoarthritis in China and globally from 1992 to 2021, and projections to 2030: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *Front. Public Health.* 2025;13:1543180. doi: 10.3389/fpubh.2025.1543180

6. Lee SH, Yoo JH, Kwak DK, Kim SH, Chae SK, Moon HS. The posterior tibial slope affects the measurement reliability regarding the radiographic parameter of the knee. *BMC musculoskeletal disorders*. 2024;25(1):202. doi: [10.1186/s12891-024-07330-3](https://doi.org/10.1186/s12891-024-07330-3)
7. Handa M, Takahashi T, Saito A, Iguchi M, Takeshita K. Comparison of coronal and sagittal alignment in patients without osteoarthritis but with knee complaints. *J Exp Orthop*. 2025;12(1):e70165. doi: [10.1002/jeo2.70165](https://doi.org/10.1002/jeo2.70165)
8. Meier M, Janssen D, Koeck FX, Thienpont E, Beckmann J, Best R. Variations in medial and lateral slope and medial proximal tibial angle. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2021;29(3):939-46. doi: [10.1007/s00167-020-06052-y](https://doi.org/10.1007/s00167-020-06052-y)
9. Siddiqi A, Anis H, Borukhov I, Piuzy NS. Osseous Morphological Differences in Knee Osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2022;104(9):805-12. doi: [10.2106/JBJS.21.00892](https://doi.org/10.2106/JBJS.21.00892)
10. Kylymniuk LO, Matsipura MM, Iaremyn SI. Clustering of knee joint types affected by the degenerative-dystrophic process. *Ukrainian Medical Journal*. 2025; (2):117-22. doi: [10.32471/umj.1680-3051.264438](https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.264438)
11. Kylymniuk L, Matsipura M, Iaremyn S. [Variations in patellar position according to knee joint morphotype in patients with osteoarthritis]. *Pain, joints, spine*. 2025;15(2):61-9. Ukrainian. doi: [10.22141/pjs.15.2.2025.462](https://doi.org/10.22141/pjs.15.2.2025.462)
12. Abalkhail TB, McClure PK. Sagittal Plane Assessment in Deformity Correction Planning: The Sagittal Joint Line Angle. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2022;17(3):159-64. doi: [10.5005/jp-journals-10080-1569](https://doi.org/10.5005/jp-journals-10080-1569)
13. Cassar-Pullicino VN, Davies AM, editors. *Measurements in musculoskeletal radiology*. Berlin, Germany: Springer; 2020. doi: [10.1007/978-3-540-68897-6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68897-6)
14. The World Medical Association. (1964/2013). Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects [Internet]. Ferney-Voltaire: WMA; 2013 [cited 2025 Jun 9]. Available from: <https://www.wma.net/what-we-do/medical-ethics/declaration-of-helsinki/>
15. Council of Europe. Konventsia pro zakhyst prav liudyny ta hidnosti liudyny shchodo zastosuvannya biolohii ta medytsyny: Konventsia pro prava liudyny ta biomedytsynu [Convention for the protection of human rights and dignity of the human being with regard to the application of biology and medicine: convention on human rights and biomedicine] [Internet]. Strasbourg: Council of Europe; 1997 [cited 2025 Jul 9]. Available from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_334#Text
16. Ministry of Health of Ukraine. Pro zatverdzhennia poriadku provedennia klinichnykh vyprovuvan likarskykh zasobiv ta ekspertyzy materialiv klinichnykh vyprovuvan ta typovoho polozhennia pro etychni komitety [On approval of the procedure for conducting clinical trials of medicinal products and examination of clinical trial materials and model regulation on ethics committees]. Order dated 2009 Sep 23, No. 690. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1010-09#Text>
17. Yang D, Zhou Y, Shao H, Deng W. Different Deformity Origins and Morphological Features in Subtypes of Valgus Knees: A Radiological Classification System. *Orthop Surg*. 2022;14(1):96-103. doi: [10.1111/os.13178](https://doi.org/10.1111/os.13178)
18. Xin L, Xingjia M, Shengjie G, Yanwei C, Shuaijie L, Chuan X. Comparison of Tibial Tubercle Landmark Technique and Range of Motion Technique in Primary Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Cohort Study. *Orthop Surg*. 2022;14(12):3159-70. doi: [10.1111/os.13486](https://doi.org/10.1111/os.13486)
19. Saidapur SK, Sai Srinivas P, Shete S, Hundekar A, Jatti RS. Radiological assessment of the posterior tibial slope as a risk factor for osteoarthritis of the knee in Indian population. *Trends Clin Med Sci*. 2023;3(Spec Iss 2):397-402. Available from: <https://pisrt.org/psrpress/j/tcms/2023/special-issue-2/radiological-assessment-of-the-posterior-tibial-slope-as-a-risk-factor-for-osteoarthritis-of-the-knee-in-indian-population.pdf>
20. Wu Y, Lu W, Li Z, Xie H, Tang L, Pan E. [Analysis of the influence of tibial component posterior slope angle on short- and mid-term effectiveness of unicompartmental knee arthroplasty]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2022;36(2):189-95. Chinese. doi: [10.7507/1002-1892.202110019](https://doi.org/10.7507/1002-1892.202110019)
21. Hohmann E, Nel A, Zyl RV, Keough N, Mogale N. A morphometric study of posterior tibial slope differences by sex and ethnicity in a South African population. *Surg Radiol Anat*. 2025;47(1):52. doi: [10.1007/s00276-024-03551-2](https://doi.org/10.1007/s00276-024-03551-2). Erratum in: *Surg Radiol Anat*. 2025;47(1):130. doi: [10.1007/s00276-025-03639-3](https://doi.org/10.1007/s00276-025-03639-3)
22. Hiranaka Y, Muratsu H, Tsubosaka M, Matsumoto T, Maruo A, Miya H, et al. Influence of posterior tibial slope on sagittal knee alignment with comparing contralateral knees of anterior cruciate ligament injured patients to healthy knees. *Sci Rep*. 2022;12(1):14071. doi: [10.1038/s41598-022-18442-y](https://doi.org/10.1038/s41598-022-18442-y)
23. Mas Matas B, Barberà IC, Marsico S, Claramunt AA, Torres-Claramunt R, Solano López A. Importance of posterior tibial slope, medial tibial plateau slope and lateral tibial plateau slope in anterior cruciate ligament injury. *Open J Orthop*. 2021;11(9):233-48. doi: [10.4236/ojo.2021.119022](https://doi.org/10.4236/ojo.2021.119022)
24. Dean RS, Beck EC, Waterman BR. Knee malalignment: Is there a role for correction in primary ACLR? *Oper Tech Sports Med*. 2021;29(2):150833. doi: [10.1016/j.otsm.2021.150833](https://doi.org/10.1016/j.otsm.2021.150833)
25. Chen Y, Ding J, Dai S, Yang J, Wang M, Tian T, et al. Radiographic measurement of the posterior tibial slope in normal Chinese adults: a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):386. doi: [10.1186/s12891-022-05319-4](https://doi.org/10.1186/s12891-022-05319-4)
26. Springer B, Waldstein W, Bechler U, Jungwirth-Weinberger A, Windhager R, Boettner F. The Functional Status of the ACL in Varus OA of the Knee: The Association With Varus Deformity and Coronal Tibiofemoral Subluxation. *The Journal of arthroplasty*. 2021;36(2):501-6. doi: [10.1016/j.arth.2020.08.049](https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.08.049)