

Вплив нахилу суглобової лінії на морфологічні параметри колінних суглобів 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», Україна, 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

Мета роботи – охарактеризувати морфологічні параметри колінних суглобів при остеоартриті з переважним ураженням медіального відділу, враховуючи нахил суглобової лінії, визначений за авторською методикою (mJLO).

Матеріали і методи. Проаналізовано 100 стандартних рентгенограм колінних суглобів, виконаних у прямій проєкції при опорному навантаженні, 70 пацієнтів з медіальним гонартрозом. Середній вік – $63,56 \pm 8,10$ року. Оцінювали анатомічний латеральний дистальний стегновий кут (aLDFA), анатомічний медіальний проксимальний великогомілковий кут (aMPTA), стегново-гомілковий кут (FTA), кут конвергенції суглобової лінії (JLCA), нахил суглобової лінії (JLO), а також mJLO. Значення mJLO $<177^\circ$ визначали як дистальний нахил суглобової лінії (AD), $177-183^\circ$ – нейтральний (AN), $>183^\circ$ – проксимальний (AP). Значущими вважали відмінності при $p \leq 0,05$.

Результати. AD встановлено у 72 (72,00 %) обстежених, AN – у 25 (25,00 %), AP – у 3 (3,00 %). Значення mJLO у осіб з AD становило $172,13 \pm 4,15^\circ$, AN – $178,92 \pm 1,53^\circ$, AP – $187,33 \pm 2,52^\circ$ ($p < 0,00001$). Показник FTA у пацієнтів з AD становив $175,90 \pm 5,08^\circ$, AN – $179,58 \pm 5,68^\circ$, AP – $185,00 \pm 3,00^\circ$ ($p = 0,003$). Значення aLDFA в осіб з AD становило $83,33 \pm 2,75^\circ$, AN – $85,82 \pm 2,37^\circ$, AP – $86,33 \pm 3,06^\circ$ ($p = 0,0003$). Значення aMPTA у пацієнтів з AD становило $82,80 \pm 3,28^\circ$, AN – $87,10 \pm 2,50^\circ$, AP – $95,00 \pm 2,65^\circ$ ($p < 0,00001$). Показник JLCA у пацієнтів з AD становив $4,41 \pm 1,39^\circ$, AN – $3,72 \pm 0,99^\circ$, AP – $3,50 \pm 1,32^\circ$ ($p = 0,08$). Значення JLO у пацієнтів з AD становило $0,83 \pm 3,52^\circ$, AN – $3,50 \pm 4,15^\circ$, AP – $4,00 \pm 1,00^\circ$ ($p = 0,009$). У пацієнтів із вищими значеннями mJLO та AP встановлено вищі показники FTA ($\tau = +0,21$, $p = 0,002$), aLDFA ($\tau = +0,53$, $p < 0,0000001$), aMPTA ($\tau = +0,56$, $p < 0,0000001$) та менші значення JLCA ($\tau = -0,18$, $p = 0,007$).

Вищі шанси AD встановлено при значеннях aLDFA $79-83^\circ$ (OR = 3,86, CI (1,51–11,10), $p = 0,004$), aMPTA $\leq 84^\circ$ (OR = 15,35, CI (5,05–61,75), $p = 0,0000001$), JLCA $\geq 4,1^\circ$ (OR = 4,04, CI (1,52–12,47), $p = 0,004$), JLO $< 0^\circ$ (OR = 3,69, CI (1,31–12,62), $p = 0,01$). Вищу ймовірність AN доведено в обстежених зі значеннями aLDFA $\geq 84^\circ$ (OR = 5,56, CI (2,06–17,31), $p = 0,0005$), aMPTA $85-90^\circ$ (OR = 4,13, CI (1,65–10,90), $p = 0,002$), aMPTA $\geq 91^\circ$ (OR = 5,30, CI (1,46–20,93), $p = 0,01$), JLCA $2,1-4,0^\circ$ (OR = 3,42, CI (1,32–9,90), $p = 0,01$), JLO $> 0^\circ$ (OR = 3,03, CI (1,07–10,41), $p = 0,04$).

Висновки. Доведено значущі відмінності морфологічних параметрів колінних суглобів при остеоартриті залежно від mJLO.

Ключові слова:
колінний суглоб, остеоартрит, морфологія кістки, набуті деформації суглоба, діагностична візуалізація.

Запорізький медичний журнал.
2026. Т. 28, № 1(154).
С. 37-46

Influence of joint line obliquity on morphological parameters of the knee joint in osteoarthritis

R. I. Blonskyi, L. O. Kylymniuk

Aim. To characterize the morphological parameters of the knee joint in medial osteoarthritis (OA), accounting for joint line obliquity (JLO) as assessed by a method proposed by the author (mJLO).

Materials and methods. A total of 100 standard weight-bearing anteroposterior knee radiographs from 70 patients with medial knee OA were analyzed. The following radiographic parameters were evaluated: anatomical lateral distal femoral angle (aLDFA), anatomical medial proximal tibial angle (aMPTA), femorotibial angle (FTA), joint line convergence angle (JLCA), joint line obliquity (JLO), and mJLO. Values of mJLO $<177^\circ$ were defined as apex distal (AD), $177-183^\circ$ as apex neutral (AN), and $>183^\circ$ as apex proximal (AP). Statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

Results. AD was identified in 72 cases (72.0 %), AN in 25 (25.0 %), and AP in 3 (3.0 %). The mean mJLO values were: AD $172.13 \pm 4.15^\circ$, AN $178.92 \pm 1.53^\circ$, and AP $187.33 \pm 2.52^\circ$ ($p < 0.00001$). The corresponding values for other parameters were: FTA: AD – $175.90 \pm 5.08^\circ$, AN – $179.58 \pm 5.68^\circ$, AP – $185.00 \pm 3.00^\circ$ ($p = 0.003$); aLDFA: AD – $83.33 \pm 2.75^\circ$, AN – $85.82 \pm 2.37^\circ$, AP – $86.33 \pm 3.06^\circ$ ($p = 0.0003$); aMPTA: AD – $82.80 \pm 3.28^\circ$, AN – $87.10 \pm 2.50^\circ$, AP – $95.00 \pm 2.65^\circ$ ($p < 0.00001$); JLCA: AD – $4.41 \pm 1.39^\circ$, AN – $3.72 \pm 0.99^\circ$, AP – $3.50 \pm 1.32^\circ$ ($p = 0.08$); JLO: AD – $0.83 \pm 3.52^\circ$, AN – $3.50 \pm 4.15^\circ$, AP – $4.00 \pm 1.00^\circ$ ($p = 0.009$). Higher mJLO values (characteristic of the AP phenotype) positively correlated with increased FTA ($\tau = +0.21$, $p = 0.002$), aLDFA ($\tau = +0.53$, $p < 0.0000001$), and aMPTA ($\tau = +0.56$, $p < 0.0000001$), while negatively correlating with JLCA ($\tau = -0.18$, $p = 0.007$). The likelihood of the AD phenotype was significantly increased in patients with aLDFA $79-83^\circ$ (OR = 3.86; 95 % CI: 1.51–11.10; $p = 0.004$), aMPTA $\leq 84^\circ$ (OR = 15.35; 95 % CI: 5.05–61.75; $p < 0.001$), JLCA $\geq 4.1^\circ$ (OR = 4.04; 95 % CI: 1.52–12.47; $p = 0.004$), and JLO $< 0^\circ$ (OR = 3.69; 95 % CI: 1.31–12.62; $p = 0.01$). Conversely, the AN phenotype was more probable in patients with aLDFA $\geq 84^\circ$ (OR = 5.56, CI (2.06–17.31), $p = 0.0005$), aMPTA $85-90^\circ$ (OR = 4.13, CI (1.65–10.90), $p = 0.002$), aMPTA $\geq 91^\circ$ (OR = 5.30, CI (1.46–20.93), $p = 0.01$), JLCA $2.1-4.0^\circ$ (OR = 3.42, CI (1.32–9.90), $p = 0.01$), JLO $> 0^\circ$ (OR = 3.03, CI (1.07–10.41), $p = 0.04$).

Conclusions. Morphological parameters of the knee joint in medial osteoarthritis patients significantly differ based on mJLO values.

Keywords:
knee joint, osteoarthritis, bone morphology, acquired joint deformities, diagnostic imaging.

Zaporozhye Medical Journal.
2026;28(1):37-46

Остеоартрит колінного суглоба – це хронічне мультифакторне дегенеративно-дистрофічне захворювання з варіабельним запальним компонентом, що характеризується прогресивним руйнуванням суглобового хряща, реактивними змінами субхондральної кістки та ураженням і внутрішньосуглобових, і навколосуглобових структур. Гетерогенність етіопатогенетичних факторів і клінічних проявів дегенеративно-дистрофічного процесу ускладнює створення узагальненої класифікації, а також визначення цільових стратегій лікування і профілактики.

З погляду сучасної персоналізованої ортопедії особливо актуальною є проблема морфологічної варіабельності суглобів. У багатьох дослідженнях показано відмінності структурних змін колінних суглобів, враховуючи вік пацієнтів, стать, етнічну належність [1,2,3]. Доведено морфологічні варіації залежно від стадії та етіопатогенетичної форми захворювання [4,5].

Одним із сучасних методів класифікації фенотипів колінного суглоба є Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK). Система дає змогу розрізнити 9 фенотипових варіантів та обрати найбільш доцільний метод позиціонування імплантата при ендопротезуванні колінного суглоба для кожного виду. Згідно з оригінальною методикою, що запропонована S. J. MacDessi et al. у 2021 році, для визначення фенотипу колінного суглоба обраховують два ключові параметри – арифметичний стегово-колінно-гомільковий кут (aHKA) та нахил лінії суглоба (JLO). Зокрема, aHKA визначають як різницю значень механічного латерального дистального стегового кута (LDFA) та механічного медіального проксимального великогомілкового кута (MPTA), а JLO – як їх суму. Значення кутів LDFA та MPTA оцінюють на орторентгенограмах нижніх кінцівок. Надалі на основі матриці поєднання ключових параметрів ідентифікують один із дев'яти фенотипів колінного суглоба [6].

Практичну цінність класифікації CPAK щодо індивідуалізації підходів до корекції механічної осі нижньої кінцівки підтверджено результатами численних досліджень [1,7]. Разом із тим, ця система має низку обмежень: не враховує параметри сагітальної морфології, індивідуальні чинники пацієнтів, а також непридатна у разі виявлення позасуглобових деформацій [8,9]. Не менш важливим фактором, що обмежує її застосування на практиці, є необхідність виконання орторентгенограм, що не завжди можливо і доцільно в діагностиці гонартрозу. Орторентгенографія пов'язана з вищим променевим навантаженням та обмеженнями у деталізації структур колінного суглоба порівняно зі стандартною рентгенографією.

Під час аналізу ключових параметрів CPAK aHKA є критерієм, що залежить від положення механічної осі нижньої кінцівки, і для його оцінювання виконання орторентгенограм є обов'язковим. Натомість JLO, як зазначають автори оригінальної праці, є незалежним індикатором [6]. Зазвичай терміном JLO визначають рентгенографічний кут між лінією, дотичною до плато великогомілкової кістки та лінією, паралельною до поверхні землі, який може бути оцінений і на орторентгенограмі, і на стандартній рентгенограмі колінного суглоба. При цьому значення JLO $>0^\circ$ вказують на латеральний нахил суглобової лінії, а показник JLO $<0^\circ$ свідчить про її медіальну орієнтацію [10]. Згідно з

даними S. J. MacDessi et al., JLO, який визначають як «варус», зазвичай є результатом комбінації варусного положення осі великогомілкової кістки та вальгусного відхилення осі стегової кістки при нейтральному положенні осі нижньої кінцівки. На противагу цьому, JLO визначають як «варус» й у разі поєднання дистального вальгусу стегової кістки та нейтрального положення проксимального відділу великогомілкової кістки при вальгусному положенні осі нижньої кінцівки. Дослідники наголосили, що використання однакових термінів для цих двох незалежних змінних у коронарній площині спричиняє неоднозначність та плутанину. Натомість, обрахований за методикою CPAK показник JLO дає змогу чітко охарактеризувати нахил лінії колінних суглобів щодо горизонтальних суглобових ліній і визначити положення суглобової верхівки як дистальне, нейтральне і проксимальне [6]. Зауважимо, що обидва підходи до оцінювання JLO є інформативними, зокрема показник JLO, обрахований за CPAK, дає змогу охарактеризувати анатомічну конфігурацію суглобової лінії, а рентгенологічний кут JLO – функціональний нахил суглобової площини при осьовому навантаженні.

Отже, нахил суглобової лінії є одним із ключових чинників у відновленні оптимального осьового балансу нижньої кінцівки, що зумовлює актуальність і перспективність його подальшого дослідження як важливої складової оптимізації персоналізованого підходу до ортопедичного лікування остеоартриту колінного суглоба.

Нульова гіпотеза дослідження полягала в тому, що немає морфологічних відмінностей колінних суглобів при медіальному остеоартриті, враховуючи нахил суглобової лінії, що визначений за авторською методикою з використанням стандартних рентгенограм.

Мета роботи

Охарактеризувати морфологічні параметри колінних суглобів при остеоартриті з переважним ураженням медіального відділу, враховуючи нахил суглобової лінії, визначений за авторською методикою (mJLO).

Матеріали і методи дослідження

У цьому поперечному (одномоментному) обсерваційному дослідженні наведено аналіз результатів рентгенографічного обстеження 100 випадків остеоартриту колінного суглоба з переважним ураженням медіального відділу 70 пацієнтів, які перебували на стаціонарному лікуванні в травматологічному відділенні КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги» за період 2017–2025 років. Середній вік – $63,56 \pm 8,10$ року. До групи дослідження залучено 26 (37,14 %) чоловіків і 44 (62,86 %) жінки. Ознаки однобічного ураження колінного суглоба дегенеративно-дистрофічним процесом виявлено у 40 (57,14 %) пацієнтів, 30 (42,86 %) осіб мали двобічний характер захворювання. Аналіз здійснили на рівні суглоба без урахування внутрішньоіндивідуальної кореляції між колінами одного пацієнта. Обидва колінних суглоби одного обстеженого аналізували як різні структурні варіанти та незалежні одиниці спостереження ($n = 100$).

Критерії залучення пацієнтів до дослідження – діагностований первинний остеоартрит (остеоартроз)

колінного суглоба 2–3 стадії за класифікацією Kellgren–Lawrence з переважним ураженням медіального відділу; вторинний остеоартрит колінного суглоба з переважним ураженням медіального відділу суглоба, зокрема вторинний остеоартрит колінного суглоба після перенесеного асептичного некрозу медіального виростка стегнової кістки; задовільний стан латерального відділу колінного суглоба (неушкоджений меніск і збереження повної товщини суглобового хряща); цілісність зв'язкового апарату колінного суглоба; можливість повного розгинання колінного суглоба або наявність згинальної контрактури $<10^\circ$.

Критерії виключення з дослідження – тотальне ураження медіального та латерального відділів колінного суглоба дегенеративно-дистрофічним процесом; вторинний посттравматичний остеоартрит після внутрішньосуглобового перелому дистального відділу стегнової кістки чи перелому плато великогомілкової кістки; попередні оперативні втручання, виконані в ділянці дистального відділу стегнової кістки чи проксимального відділу великогомілкової кістки; наявність згинальної контрактури $>10^\circ$; нестабільність зв'язкового апарату колінного суглоба; вторинний остеоартрит, зумовлений диспластичними змінами кісткової тканини, метаболічними та іншими захворюваннями (охроноз, хвороба Гоше, хвороба Педжета, остеопетроз); активний інфекційний процес чи наявність латентної інфекції.

Особливості морфології колінних суглобів при остеоартриті з переважним ураженням медіального відділу визначали, аналізуючи такі рентгенологічні параметри:

- анатомічний латеральний дистальний стегновий кут (aLDFA) – кут, сформований між горизонтальною лінією, дотичною до дистальної суглобової поверхні стегнової кістки, та анатомічною віссю стегнової кістки, виміряний латерально. Референтними вважали значення кута в діапазоні $79\text{--}83^\circ$;

- анатомічний медіальний проксимальний великогомілковий кут (aMPTA) – кут, сформований між лінією, дотичною до проксимальної суглобової поверхні великогомілкової кістки, та анатомічною віссю великогомілкової кістки, виміряний медіально; значення кута в межах $85\text{--}90^\circ$ визначали як референтні;

- стегново-гомілковий кут (FTA) – кут, утворений між анатомічними осями стегнової та великогомілкової кісток, виміряний медіально;

- кут конвергенції суглобової лінії (JLCA) – кут, утворений між лініями, дотичними до суглобових поверхонь дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки. Значення кута в діапазоні $0\text{--}2^\circ$ визначено як референтні [11];

- нахил суглобової лінії (JLO) – кут, визначений між лінією, дотичною до плато великогомілкової кістки та горизонтальною лінією, паралельною до землі. Значення JLO $>0^\circ$ свідчили про латеральну інклінацію суглобової лінії, а JLO $<0^\circ$ – про медіальний нахил лінії колінного суглоба [10].

Для аналізу використовували стандартні (короткі) рентгенограми колінних суглобів, виконані в прямій проекції при опорному навантаженні нижніх кінцівок.

Додатково оцінювали нахил лінії колінного суглоба за авторською методикою, що розроблена з урахуванням принципів системи CРАК як концептуального

прототипу. Модифікований JLO (mJLO) обчислено за формулою: $mJLO = aMPTA + aLDFA + 6^\circ$, де 6° – поправковий коефіцієнт, що свідчив про вальгусне відхилення анатомічної осі щодо механічної [11]. Показник, що одержано, інтерпретували за рекомендаціями авторів оригінальної методики. Значення mJLO $<177^\circ$ визначали як дистальний нахил суглобової лінії (AD), показник mJLO в діапазоні $177\text{--}183^\circ$ – як нейтральний (AN), а якщо значення mJLO становило $>183^\circ$, нахил лінії колінного суглоба визначали як проксимальний (AP) [6]. Порогові інтервали запозичено з оригінальної системи CРАК лише для орієнтовної категоризації нахилу суглобової лінії без претензії на еквівалентність результатам вимірювання механічних кутів. Для перевірки стійкості класифікації та оцінювання стабільності результатів здійснили аналіз чутливості моделі, де поправковий коефіцієнт змінювали на $\pm 1^\circ$ (без зміщення порогових меж для AD, AN, AP), надалі повторно обчислювали mJLO і порівнювали у групах. Високий ступінь кореляції результатів оцінювання морфологічних параметрів колінного суглоба, визначених на стандартних рентгенограмах, виконаних в передньо-задній проекції, з даними, що встановлені під час аналізу орторентгенограм, підтверджено у дослідженні M. Unal et al. [12], що стало підґрунтям для вибору моделі CРАК як прототипу.

Морфометричні параметри оцінювали два незалежних дослідники. Рівень узгодженості вимірювань між спостерігачами визначали з використанням внутрішньокласового коефіцієнта кореляції (ICC) за двонаправленою моделлю зі змішаними ефектами з абсолютною відповідністю. Значення ICC становили $\geq 0,85$, що свідчило про високу відтворюваність результатів вимірювань.

Надалі у групах, сформованих з урахуванням нахилу суглобової лінії, аналізували відмінності за визначеними морфологічними параметрами. Додатково оцінювали прогностичний потенціал досліджених кутів у визначенні нахилу суглобової лінії в пацієнтів із медіальним гонартрозом. Первинна гіпотеза полягала у визначенні морфологічних відмінностей колінних суглобів при медіальному остеоартриті з урахуванням показника mJLO. Вторинні параметри (aLDFA, aMPTA, JLCA, JLO) аналізували окремо як допоміжні, без застосування корекції на множинні порівняння, оскільки дослідження не передбачало визначення сумарного ефекту чи ієрархії показників.

Дослідження здійснили, дотримуючись етичних принципів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини» (VII перегляд, затверджено на 64 Генеральній асамблеї Всесвітньої медичної асоціації, Форталеа, Бразилія, жовтень 2013 року) [13], Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (м. Ов'єдо, Іспанія, 4 квітня 1997 року) [14], чинних національних біоетичних стандартів [15]. Це підтверджено Комітетом з біоетики Медичного центру «Angels Clinic», м. Вінниця (протокол від 22.09.2025 року № 8). Усі пацієнти поінформовані про особливості участі у дослідженні та надали письмову інформовану згоду. Для забезпечення конфіденційності персональні дані обстежених знеособлено.

Статистично результати дослідження опрацювали, використавши програмне забезпечення Statistica 13

(TIBCO Software Inc.) та середовище RStudio (R version 4.3.3; RStudio, PBC). Показники оцінювали, застосовуючи методи описативної статистики. Кількісні змінні наведено у форматі $M \pm SD$, де M – середнє вибіркове значення, а SD – стандартне відхилення. Категоріальні дані наведено як n (%), де n – абсолютна кількість спостережень, % – відповідне відсоткове співвідношення. Для порівняння параметрів незалежних груп, сформованих з урахуванням нахилу суглобової лінії, використано непараметричний статистичний критерій Краскела–Волліса. Функціональний зв'язок між змінними оцінювали з використанням коефіцієнта рангової кореляції τ -Кендала. Прогностичну цінність параметрів щодо визначення нахилу суглобової лінії при медіальному гонартрозі оцінювали на основі статистичної моделі бінарної логістичної регресії, обраховуючи відношення шансів (OR) та 95 % довірчі інтервали (CI). Для уникнення потенційного зміщення оцінок, пов'язаного з дисбалансом груп і наявністю рідкісних подій у моделі, використано метод Фірта (Firth's penalized likelihood estimation). Статистично значущими вважали відмінності при $p \leq 0,05$.

Пост-хок обчислення потужності (post hoc power analysis) виконано для однофакторного дисперсійного аналізу з фіксованими ефектами (fixed effects one-way ANOVA). Параметри обрахунку: кількість груп $k = 3$, RMSSE (root-mean-square standardized effect) = 0,25, нецентральний параметр $\Delta = 1,25$, рівень значущості $\alpha = 0,05$, цільова потужність $1 - \beta = 0,80$. За наведених параметрів загальний обсяг вибірки становив $n = 79$ (отримана потужність для цього n становила 0,8049). У цьому дослідженні фактичний загальний обсяг становив $n = 100$, що перевищує обчислену величину. Оскільки дослідження поперечного дизайну, до якого включено всі доступні для аналізу випадки медіального остеоартриту колінного суглоба, оцінювання потужності здійснили ретроспективно.

Результати

Оцінивши значення $mJLO$, у переважній більшості обстежених – 72 (72,0 %) встановили AD, у 25 (25,0 %) – AN, у 3 (3,0 %) осіб – AP. Середній показник $mJLO$ у пацієнтів із групи дослідження становив $174,28 \pm 5,20^\circ$. Середнє значення $mJLO$ в обстежених з AD становило $172,13 \pm 4,15^\circ$, з AN – $178,92 \pm 1,53^\circ$, у пацієнтів з AP – $187,33 \pm 2,52^\circ$. Відмінності показників у сформованих групах статистично значущі ($p < 0,00001$) та зберігалися при усіх варіантах поправкового коефіцієнта ($5^\circ, 6^\circ, 7^\circ$), що свідчить про стабільність моделі.

Проаналізували положення анатомічної осі нижньої кінцівки, встановили, що середній показник кута FTA у пацієнтів з AD відповідав варусному відхиленню осі нижньої кінцівки, у осіб з AN – нейтральному положенню осі, найвищі значення кута та, відповідно, вальгусне відхилення осі нижньої кінцівки зафіксовано у осіб з AP (табл. 1). Порівняли значення кута FTA у групах, що сформовані з урахуванням нахилу суглобової лінії, доведено їхню статистично значущу відмінність. Середній показник кута FTA у пацієнтів із групи дослідження становив $177,09 \pm 5,57^\circ$. Доведено прямий слабкий кореляційний зв'язок ($\tau = +0,21$, $p = 0,002$) між показниками кута FTA та $mJLO$, що свідчить про вищі значення кута

FTA та, відповідно, вальгусне положення осі нижньої кінцівки у пацієнтів з AP (рис. 1).

Середній показник кута $aLDFA$ в обстежених становив $84,04 \pm 2,88^\circ$. Найвищі значення кута зафіксовано в осіб з AP, найменші – в осіб з AD, у пацієнтів з AN встановлено проміжні значення показника, відмінності статистично значущі.

Значення кута $aLDFA \leq 78^\circ$ зафіксовано у 6 (6,00 %) пацієнтів групи, усі з них мали AD, у групах хворих з AN та AP такі значення не зафіксовано, відмінності частотних показників недостовірні. Показники кута $aLDFA 79-83^\circ$, що відповідали референтним межам, зафіксовано у 44 (44,00 %) обстежених, зокрема у більшості пацієнтів з AD, а також у 20,00 % хворих з AN і 33,33 % випадків AP, відмінності статистично значущі. Значення кута $aLDFA \geq 84^\circ$ зафіксовано у 50 (50,00 %) хворих групи: у переважній більшості пацієнтів з AN (рис. 2) та AP, а також 38,89 % осіб з AD, відмінності статистично вірогідні.

Доведено, що збільшення значень $mJLO$ та, відповідно, більш проксимальна орієнтація суглобової лінії достовірно асоційовані зі збільшенням показників кута $aLDFA$, що підтверджено прямим кореляційним зв'язком значної сили ($\tau = +0,53$, $p < 0,0000001$).

Середнє значення кута $aMPTA$ у пацієнтів із групи дослідження – $84,24 \pm 4,05^\circ$, найвищі значення кута зафіксовано у хворих з AP, найменші – в осіб з AD, в обстежених з AN встановлено проміжні показники. Порівняли значення кута $aMPTA$ у групах, сформованих з урахуванням нахилу суглобової лінії, виявлено статистично значущі відмінності.

Значення кута $aMPTA \leq 84^\circ$ зафіксовано у переважній більшості обстежених групи – 52 (52,00 %), переважній більшості пацієнтів з AD, а також 12,00 % хворих з AN. Значення кута $aMPTA \leq 84^\circ$ не зафіксовано в жодного з пацієнтів з AP. Порівняли частотні характеристики, враховуючи нахил суглобової лінії, доведено їхні статистично значущі відмінності. Показники кута $aMPTA 85-90^\circ$, що відповідали референтному діапазону, зафіксовано у 38 (38,00 %) обстежених, зокрема переважній більшості пацієнтів з AN та 30,55 % випадків з AD. У групі пацієнтів з AP ці показники не виявлено. Порівняли частоти досліджуваного показника у сформованих групах, доведено статистично значущі відмінності. Підвищені значення кута $aMPTA \geq 91^\circ$ зафіксовано у 10 (10,00 %) обстежених: всіх пацієнтів з AP, а також 24,00 % осіб з AN та 1,39 % випадків з AD, відмінності показників достовірні (рис. 3).

Крім того, встановлено достовірне зростання значень кута $aMPTA$ зі збільшенням показника $mJLO$ ($\tau = +0,56$, $p < 0,0000001$).

На наступному етапі для оцінювання внутрішньосуглобових просторових співвідношень обчислили кути JLCA та JLO, проаналізували їхні відмінності у групах, сформованих з урахуванням нахилу суглобової лінії (табл. 2).

Середній показник кута JLCA у пацієнтів із групи дослідження становив $4,21 \pm 1,33^\circ$. Найвищі значення кута JLCA зафіксовано у пацієнтів з AD, найменші – у групі осіб з AP, у хворих з AN встановлено проміжні значення показника. Порівнявши значення кута JLCA у сформованих групах, не визначили статистично значущих відмінностей.

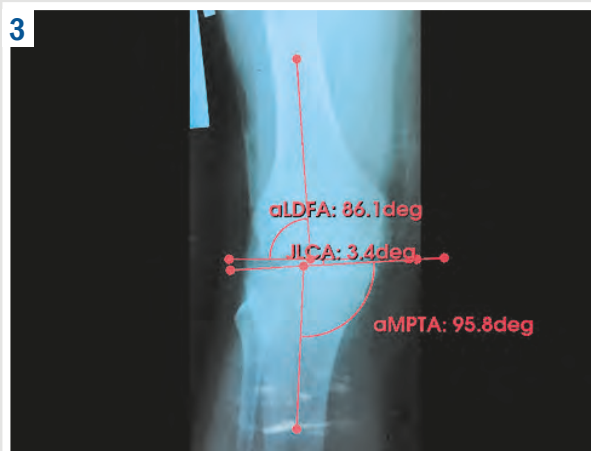
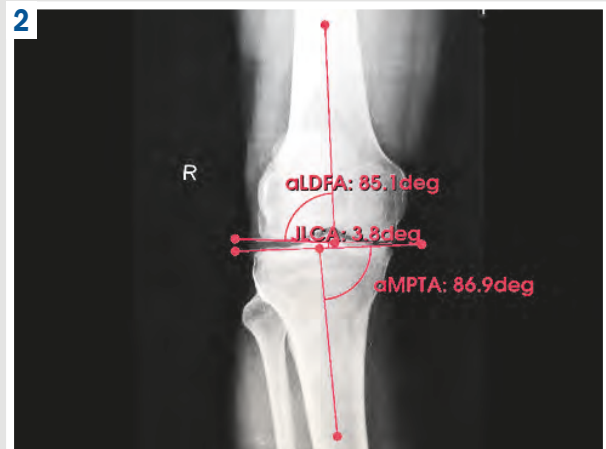
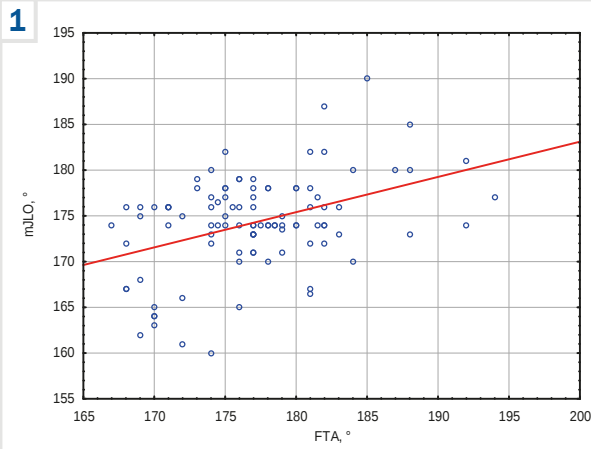


Рис. 1. Діаграма розсіювання показників кута FTA з урахуванням значень mJLO колінного суглоба при остеоартриті.

Рис. 2. Рентгенограма правого колінного суглоба хворої Л. віком 43 роки. Медіальний гонартроз 3 ст. AN. FTA – 175°, aLDFA – 85,1°, aMPTA – 86,9°, JLCA – 3,8°, JLO – 3,1°, mJLO = 85,1° + 86,9° + 6° = 178°.

Рис. 3. Рентгенограма правого колінного суглоба хворої К. віком 60 років. Медіальний гонартроз 3 ст. AP. FTA – 185°, aLDFA – 86,1°, aMPTA – 95,8°, JLCA – 3,4°, JLO – 4°, mJLO = 86,1° + 95,8° + 6° = 187,9°.

Рис. 4. Рентгенограма правого колінного суглоба хворої З. віком 66 років. Медіальний гонартроз 3 ст. AD. FTA – 168°, aLDFA – 83,3°, aMPTA – 78,0°, JLCA – 4,8°, JLO – 6,4°, mJLO = 83,3° + 78,0° + 6° = 167,3°.

Значення кута JLCA $\leq 2,0^\circ$, що відповідали референтному діапазону, встановлено у 6 (6,00 %) пацієнтів групи, натомість у переважній більшості обстежених – 94 (94,00 %) – зафіксовано показники кута $> 2,0^\circ$. Враховуючи нахил суглобової лінії, відмінності частотних показників JLCA $\leq 2,0^\circ$ та $> 2,0^\circ$ статистично незначущі.

Порогові значення кута JLCA в діапазоні 2,1–4,0° встановлено у 54 (54,00 %) хворих, зокрема переважної більшості пацієнтів з AN, а також 47,22 % обстежених з AD та 33,33 % випадків з AP, відмінності показників статистично вірогідні. Показники кута JLCA $> 4,0^\circ$ зафіксовано у 40 (40,00 %) обстежених: 48,61 % пацієнтів з AD, 33,33 % випадків AP, а також 16,00 % хворих з AN, відмінності показників достовірні (рис. 4).

Незважаючи на те, що не виявлено статистично значущої відмінності значень кута JLCA у групах, сформованих з урахуванням значень mJLO, між цими показниками встановлено зворотний слабкий кореля-

Таблиця 1. Характеристика положення анатомічних осей стегнової та великогомілкової кісток та осі нижньої кінцівки з урахуванням нахилу суглобової лінії при остеоартриті колінного суглоба

Параметр	Нахил суглобової лінії			p
	AD, n = 72	AN, n = 25	AP, n = 3	
FTA	175,90 ± 5,08°	179,58 ± 5,68°	185,00 ± 3,00°	0,003*
aLDFA	83,33 ± 2,75°	85,82 ± 2,37°	86,33 ± 3,06°	0,0003*
≤78°	6 (8,33 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0,29
79–83°	38 (52,78 %)	5 (20,00 %)	1 (33,33 %)	0,02*
≥84°	28 (38,89 %)	20 (80,00 %)	2 (66,67 %)	0,002*
aMPTA	82,80 ± 3,28°	87,10 ± 2,50°	95,00 ± 2,65°	<0,00001*
≤84°	49 (68,06 %)	3 (12,00 %)	0 (0,00 %)	<0,00001*
85–90°	22 (30,55 %)	16 (64,00 %)	0 (0,00 %)	0,005*
≥91°	1 (1,39 %)	6 (24,00 %)	3 (100,0 %)	<0,00001*

*: статистично значущі відмінності показників, $p \leq 0,05$.

Таблиця 2. Характеристика внутрішньосуглобових просторових співвідношень з урахуванням нахилу суглобової лінії при остеоартриті колінного суглоба

Параметр	Нахил суглобової лінії			p
	AD, n = 72	AN, n = 25	AP, n = 3	
JLCA	4,41 ± 1,39	3,72 ± 0,99	3,50 ± 1,32	0,08
0–2°	3 (4,17 %)	2 (8,00 %)	1 (33,33 %)	0,10
>2°	69 (95,83 %)	23 (92,00 %)	2 (66,67 %)	0,10
2,1–4,0°	34 (47,22 %)	19 (76,00 %)	1 (33,33 %)	0,04*
≥4,1°	35 (48,61 %)	4 (16,00 %)	1 (33,33 %)	0,02*
JLO	0,83 ± 3,52	3,50 ± 4,15	4,00 ± 1,00	0,009*
<0°	29 (40,28 %)	4 (16,00 %)	0 (0,00 %)	0,04*
>0°	43 (59,72 %)	21 (84,00 %)	3 (100,0 %)	0,04*

*: статистично значущі відмінності показників, $p \leq 0,05$.

Таблиця 3. Прогностична цінність показників положення анатомічних осей стегнової та великогомілкової кісток щодо визначення нахилу суглобової лінії при остеоартриті колінного суглоба

Параметр	Нахил суглобової лінії		
	AD	AN	AP
aLDFA			
≤78°	OR = 5,57 CI (0,62–735,65) p = 0,15	OR = 0,21 CI (0,002–1,880) p = 0,19	OR = 2,01 CI (0,01–24,40) p = 0,68
79–83°	OR = 3,86 CI (1,51–11,10) p = 0,004	OR = 0,25 CI (0,08–0,67) p = 0,005	OR = 0,75 CI (0,07–5,86) p = 0,78
≥84°	OR = 0,19 CI (0,06–0,48) p = 0,0003	OR = 5,56 CI (2,06–17,31) p = 0,0005	OR = 1,70 CI (0,22–19,08) p = 0,61
aMPTA			
≤84°	OR = 15,35 CI (5,05–61,75) p = 0,0000001	OR = 0,08 CI (0,02–0,25) p = 0,000002	OR = 0,12 CI (0,0009–1,3300) p = 0,09
85–90°	OR = 0,34 CI (0,14–0,81) p = 0,02	OR = 4,13 CI (1,65–10,90) p = 0,002	OR = 0,22 CI (0,002–2,370) p = 0,24
≥91°	OR = 0,04 CI (0,004–0,200) p = 0,00002	OR = 5,30 CI (1,46–20,93) p = 0,01	OR = 84,47 CI (7,24–11779,35) p = 0,0002

Таблиця 4. Прогностична цінність внутрішньосуглобових просторових співвідношень щодо визначення нахилу суглобової лінії при остеоартриті колінного суглоба

Параметр	Нахил суглобової лінії		
	AD	AN	AP
JLCA			
0–2°	OR = 0,37 CI (0,07–1,83) p = 0,21	OR = 1,69 CI (0,28–8,18) p = 0,53	OR = 10,09 CI (0,82–91,20) p = 0,07
>2°	OR = 2,73 CI (0,55–13,66) p = 0,21	OR = 0,59 CI (0,12–3,57) p = 0,53	OR = 0,10 CI (0,01–1,22) p = 0,07
2,1–4,0°	OR = 0,37 CI (0,14–0,91) p = 0,03	OR = 3,42 CI (1,32–9,90) p = 0,01	OR = 0,50 CI (0,04–3,89) p = 0,45
≥4,1°	OR = 4,04 CI (1,52–12,47) p = 0,004	OR = 0,23 CI (0,07–0,64) p = 0,004	OR = 0,89 CI (0,08–6,94) p = 0,91
JLO			
<0°	OR = 3,69 CI (1,31–12,62) p = 0,01	OR = 0,33 CI (0,10–0,94) p = 0,04	OR = 0,28 CI (0,002–2,96) p = 0,33
>0°	OR = 0,27 CI (0,08–0,76) p = 0,01	OR = 3,03 CI (1,07–10,41) p = 0,04	OR = 3,64 CI (0,34–494,34) p = 0,33

ційний зв'язок. На підставі цього зробили висновок про достовірне збільшення значень кута JLCA у пацієнтів з AD ($\tau = -0,18$, $p = 0,007$).

Середній показник кута JLO в обстежених становив $1,59 \pm 3,82^\circ$. Найвищі значення кута JLO зафіксовано в осіб з AP, найменші – у пацієнтів з AD, у пацієнтів з AN встановлено проміжні значення, відмінності статистично значущі.

Медіальну інклинацію суглобової лінії та значення кута JLO <0° зафіксовано у 33 (33,00 %) хворих групи: 40,28 % пацієнтів з AD та 16,00 % осіб з AN, у жодного пацієнта з AP такий показник не встановлено. Значення кута JLO >0° та, відповідно, латеральну інклинацію суглобової лінії встановлено у переважної більшості хворих усіх груп. Порівнявши частоту значень кута JLO <0° та >0° у сформованих групах, встановлено статистично значущі відмінності.

Достовірного кореляційного зв'язку між показниками mJLO та значеннями кута JLO не виявлено ($\tau = +0,07$, $p = 0,31$).

Проаналізовано прогностичну цінність морфометричних характеристик щодо визначення нахилу суглобової лінії при остеоартриті колінного суглоба, встановлено: значення кута aLDFA, що відповідають референтному діапазону, асоційоване зі значущо вищими шансами AD і нижчою ймовірністю AN (табл. 3). Натомість в обстежених зі значеннями кута aLDFA ≥84° доведено значущо нижчі шанси AD і достовірно вищу ймовірність формування AN.

Значення кута aMPTA ≤84° асоційовані з вищою ймовірністю розвитку AD і нижчими шансами AN. Натомість значення кута, що відповідають референтним межам, пов'язане зі значущо нижчими шансами AD і вищим ризиком розвитку AN. У пацієнтів зі значеннями aMPTA ≥91° шанси формування AD оцінено як низькі, а AN – як високі. Встановлено вірогідний зв'язок між значеннями aMPTA ≥91° та AP, однак широкий діапазон CI свідчив про статистичну невизначеність оцінки OR.

Проаналізували показники внутрішньосуглобових просторових співвідношень, не виявили вірогідного впливу значень кута JLCA, що відповідали референтному діапазону, як і показників кута >2° у прогнозуванні нахилу лінії колінного суглоба (табл. 4). Помірне збільшення кута JLCA в діапазоні 2,1–4,0° пов'язане зі значущо вищими шансами AN і нижчою ймовірністю AD. Натомість у пацієнтів зі значеннями кута JLCA ≥4,1° доведено вищі шанси формування AD та значущо нижчу ймовірність розвитку AN.

Не менш важливим критерієм прогнозування нахилу лінії колінного суглоба вважаємо кут JLO. Значення JLO <0° пов'язані зі значущо вищою ймовірністю формування AD і нижчими шансами AN. На противагу цьому, показники JLO >0° асоційовані з вищою ймовірністю AN і низькими шансами AD.

Обговорення

У результаті дослідження схарактеризували параметри фронтальної морфології колінних суглобів при медіальному гонартрозі, враховуючи нахил суглобової лінії, що визначений за оригінальною методикою. Встановлено, що mJLO як показник просторової орієнтації суглобової

лінії відіграє важливу роль у формуванні морфологічного варіанта колінного суглоба при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях.

Найчастіший варіант нахилу суглобової лінії – AD, що зафіксований у 72 % випадків, AN зареєстровано у 25 %, AP – у 3 %. Стабільність міжгрупових відмінностей mJLO зберігалася при варіації поправкового коефіцієнта $+6^\circ$ у межах $\pm 1^\circ$, що свідчить про високу стійкість обчислених показників, внутрішню узгодженість методики та коректність застосованої формули, навіть за умов невеликої похибки й без прямої валідації на орторентгенограмах.

Незважаючи на відмінності методик обрахунку, результати, що одержали під час нашого дослідження, зіставні з даними, які отримали інші автори. Так, у проспективному обсерваційному дослідженні, що здійснене в Індії, P. Mulpur et al. проаналізували 500 орторентгенограм 250 пацієнтів з остеоартритом колінного суглоба (3–4 стадії за Kellgren–Lawrence). Встановили, що середній JLO в обстежених становив $173,5 \pm 4,96^\circ$. За класифікацією CPAK, AD фіксували у переважній більшості випадків – 74 % (I – 58,8 %, II – 13,8 %, III – 1,4 %), AN – у 22,6 % (IV – 18,2 %, V – 3,4 %, VI – 1 %), AP – у 3,4 % (VII – 2,8 %, VIII – 0,6 %, IX – 0,0 %) [16].

Зіставні дані одержано в результаті ретроспективного дослідження A. Şenel et al., які охарактеризували структуру фенотипових варіантів колінних суглобів представників турецької популяції на основі 408 орторентгенограм 296 пацієнтів з остеоартритом (141 чоловік, 155 жінок; середній вік – $54,5 \pm 7,9$ року). Середній кут JLO, відповідно до методики CPAK, становив $174,6 \pm 3,7^\circ$. AD визначено у 73,3 % обстежених (I – 28,2 %, II – 31,6 %, III – 13,5 %), AN – у 25,1 % (IV – 10,3 %, V – 12,3 %, VI – 2,5 %), AP – у 1,7 % (VII – 1,0 %, VIII – 0,0 %, IX – 0,7 %) [17].

Дослідивши рентгенологічні параметри колінних суглобів 335 пацієнтів з остеоартритом (135 (40,3 %) чоловіків та 200 (59,7 %) жінок; середній вік – $69,2 \pm 8,1$ року), Z. Morrissey et al. встановили AD у 79 % випадків (I – 22,6 %, II – 47,2 %, III – 9,2 %), AN – 21,1 % (IV – 4,2 %, V – 13,6 %, VI – 3,3 %), AP – не виявлено в жодному випадку (VII – 0,0 %, VIII – 0,0 %, IX – 0,0 %) [9].

Незважаючи на високу варіабельність морфології колінних суглобів залежно від віку, статі, етнічної належності, стадії та типу дегенеративно-дистрофічного процесу, істотне переважання AD підтверджено у всіх розглянутих роботах.

В оригінальному багатоцентровому дослідженні, що здійснили S. J. MacDessi et al., проаналізовано орторентгенограми 500 пацієнтів європейської та австралійської популяцій з остеоартритом колінного суглоба. AD встановлено у 67 % випадків (I – 19,4 %, II – 32,2 %, III – 15,4 %), AN – у 31,8 % (IV – 9,8 %, V – 14,6 %, VI – 7,4 %), AP – у 2,6 % (VII – 0,6 %, VIII – 1,6 %, IX – 0,4 %) [6].

Під час ретроспективного аналізу даних орторентгенограм 134 пацієнтів (33 чоловіки, 101 жінка; середній вік – 70 років) з остеоартритом колінного суглоба відповідно до CPAK S. Agarwal et al. зафіксували AD у 66,41 % (I – 20,89 %, II – 27,61 %, III – 17,91 %), AN – у 32,08 % (IV – 6,71 %, V – 19,4 %, VI – 5,97 %), AP – у 1,48 % (VII – 0,74 %, VIII – 0,74 %, IX – 0,0 %) [18].

У роботі S. Toyooka et al. вивчено результати рентгенологічного обстеження 500 осіб з японської популяції з остеоартритом колінного суглоба. Встановлено, що середній кут JLO дорівнював $172,4 \pm 3,8^\circ$. Автори встановили значущу поширеність AD, яка зафіксована у 87,4 % випадків (I – 53,8 %, II – 25,4 %, III – 8,2 %), AN – у 12,6 % (IV – 7,2 %, V – 4,4 %, VI – 1,0 %), AP та, відповідно, типи VII, VIII, IX не зафіксовано в жодному випадку [19].

У дослідженні S. E. Kim et al. здійснено ретроспективний аналіз даних 164 пацієнтів з остеоартритом колінного суглоба з переважним ураженням медіального відділу. Дослідники встановили, що середній JLO за обрахунками за методикою CPAK становив $175,8 \pm 2,9^\circ$ ($167,4$ – $185,7^\circ$). AD зафіксовано у 67,1 % (I – 25,6 %, II – 36,6 %, III – 4,9 %) випадків, AN – у 32,4 % (IV – 12,2 %, V – 17,1 %, VI – 3,1 %), AP – у 0,6 % (VII – 0,0 %, VIII – 0,6 %, IX – 0,0 %) [7].

Середній показник mJLO у хворих ($174,28^\circ$), яких ми обстежили під час дослідження, відповідає результатам вимірювань за класичною методикою. Зіставність отриманих результатів із даними наукової літератури свідчить про ефективність і доцільність використання методики обчислення, яку ми пропонуємо.

У результаті дослідження встановлено значущі відмінності значень кута FTA залежно від нахилу суглобової лінії: при AD зафіксовано варусне відхилення осі нижньої кінцівки ($175,90^\circ$), при AN – нейтральне ($179,58^\circ$), при AP – вальгусне ($185,00^\circ$). Крім того, тенденція до вальгусного відхилення осі нижньої кінцівки зі збільшенням значень mJLO підтверджена прямим слабким кореляційним зв'язком між значеннями кутів FTA та mJLO.

Встановлено зміну конфігурації дистального відділу стегнової кістки залежно від особливостей нахилу лінії колінного суглоба. Вищі значення кута aLDFA встановлено в обстежених із AP ($86,33^\circ$) та AN ($85,82^\circ$); крім того, у пацієнтів названих груп зі значущо вищою частотою фіксували показники, більші від референтних значень (66,67 % та 80,00% відповідно). Доведено, що значення кута $\geq 84^\circ$ асоційоване зі значущо вищими шансами розвитку AN. При цьому середній показник кута aLDFA при AD відповідав референтним значенням ($83,33^\circ$), що зафіксовані в переважній більшості обстежених – 52,78 %. В осіб із показниками кута aLDFA в діапазоні 79 – 83° доведено достовірно вищі шанси формування AD. Встановлений сильний прямий кореляційний зв'язок між значеннями mJLO та aLDFA свідчить про відхилення анатомічної осі стегнової кістки назовні при AP.

Доведено також значущу варіабельність значень кута aMPTA залежно від орієнтації суглобової лінії. Наголосимо на значущо більшій частоті значень кута $\geq 91^\circ$ при AP порівняно з показниками обстежених з AN та AD. Встановлено сильний прямий кореляційний зв'язок між mJLO та aMPTA, що вказував на латеральне відхилення анатомічної осі великогомілкової кістки у разі AP. Зазначимо, що aMPTA $\geq 91^\circ$ формально визначено як статистично значущий предиктор AP, проте, зважаючи на обмежену кількість випадків події ($n = 3$) та ознаки перфектної сепарації, що зумовили математичну нестійкість моделі, отримані результати варто інтерпретувати з обережністю.

Отже, найменші значення досліджених кутів, що характеризували конфігурацію дистального відділу стегнової та проксимального відділу великогомілкової кісток, фіксували при AD, а найвищі – при AP. Незважаючи на відмінності методологічних підходів, подібну тенденцію зміни досліджених кутів з урахуванням нахилу суглобової лінії встановили L. E. Corban et al. У ретроспективному когортному дослідженні автори проаналізували фенотипи колінних суглобів за СРАК 643 пацієнтів з остеоартритом ($n = 700$). Середній МРТА становив $87,3 \pm 2,8^\circ$, LDFA – $87,4 \pm 4,0^\circ$, JLO – $174,7 \pm 3,3^\circ$. В обстежених з AD (76,3 %) середній МРТА становив $86,5 \pm 2,6^\circ$, LDFA – $86,8 \pm 2,2^\circ$, JLO – $173,3 \pm 2,4^\circ$. У пацієнтів з AN (23,0 %) МРТА – $89,5 \pm 1,9^\circ$, LDFA – $89,3 \pm 1,9^\circ$, JLO – $178,9 \pm 1,4^\circ$. Найвищі значення усіх параметрів встановлено у хворих з AP (0,7 %): МРТА – $93,3 \pm 2,0^\circ$, LDFA – $91,1 \pm 3,0^\circ$, JLO – $184,4 \pm 1,2^\circ$ [20].

Проаналізувавши внутрішньосуглобові співвідношення, не виявлено значущих відмінностей значень JLCA у групах, але встановлено достовірну різницю за частотою межових значень $2,1\text{--}4,0^\circ$ та $\geq 4,1^\circ$.

У дослідженні T. Tsushima et al. встановили середнє значення кута JLCA $0,8^\circ$ (діапазон – $0,5\text{--}1,4^\circ$) в обстежених з 1 ступенем остеоартриту колінного суглоба за Kellgren–Lawrence, $1,8^\circ$ ($1,5\text{--}2,6^\circ$) – в осіб із 2 ступенем захворювання, $3,7^\circ$ ($2,8\text{--}5,0^\circ$) – при 3 ступені, $5,4^\circ$ ($4,9\text{--}6,5^\circ$) – при 4 ступені гонартрозу [21]. Ці дані збігаються з результатами хворих, які обстежені у межах нашого дослідження, середній показник кута JLCA у них становив $4,21^\circ$. Крім того, дослідники визначили кут JLCA як найточніший рентгенологічний параметр оцінювання ступеня тяжкості медіального остеоартриту, та встановили його зв'язок із положенням осі нижньої кінцівки [21]. Зв'язок між цим параметром і положенням осі нижньої кінцівки підтверджено й за результатами нашого дослідження. Доведено також високу прогностичну цінність значень кута JLCA $2,1\text{--}4^\circ$ та $\geq 4,1^\circ$ у прогнозуванні AN та AD відповідно.

На відміну від JLCA, показники JLO статистично значущо відрізнялися в пацієнтів із груп AD ($0,83^\circ$), AN ($3,50^\circ$) та AP ($4,00^\circ$). Ознаки латеральної інклінації суглобової лінії виявлено у більшості випадків усіх груп при AD – 59,72 %, AN – 84,0 %, при AP значення JLO $>0^\circ$ встановлено у всіх обстежених. Отримані результати характеризують рентгенологічні особливості розподілу навантаження у фронтальній площині залежно від нахилу суглобової лінії. Зауважимо, що відсутність статистично значущого зв'язку між показниками кута JLO та mJLO збігається з даними фахової літератури. Низьку узгодженість ($<50\%$) між значеннями кутів JLO, що визначені шляхом рентгенологічного вимірювання та за методикою СРАК, підтверджено у дослідженні Y. Şahbat et al. Аналізуючи орторентгенограми нижніх кінцівок 164 здорових пацієнтів, автори встановили узгодженість результатів рентгенологічного JLO та JL, визначеного під час оцінювання за СРАК, лише в 70 (42,7 %) випадках. Порівнявши методики, дослідники правильно ідентифікували JLO у 13,6 % випадків AP, 20,4 % – AN, 90,7 % – AD ($p < 0,01$) [22].

Як обмеження дослідження, що здійснили, визначаємо виконання рентгенівських знімків у різних медичних закладах, що могло вплинути на стандартизацію вихідних даних. Незважаючи на дотримання чинних протоколів, умов виконання рентгенографії колінного суглоба при опорному навантаженні нижніх кінцівок могли відрізнятися в різних установах. Зважаючи на потенційну варіативність умов рентгенографії, перевагу надавали аналізу кутових морфометричних параметрів, що меншою мірою залежать від проєкційних викривлень і масштабних похибок. Такий підхід почасти нівелював вплив технічних чинників. Незважаючи на високий ступінь кореляції значень анатомічних та механічних кутів, встановлених на стандартних передньо-задніх рентгенограмах колінного суглоба та орторентгенограмах [12], відсутність внутрішньої перевірки на повнорозмірних знімках також є обмеженням дослідження. Крім того, припущення щодо використання поправкового коефіцієнта $+6^\circ$ для перерахунку анатомічних кутів у механічні є методологічним обмеженням моделі здійсненого дослідження і може не повністю характеризувати індивідуальні анатомічні варіації колінного суглоба при остеоартриті. Незважаючи на підтверджену стабільність результатів обчислених показників, за даними аналізу чутливості ($\pm 1^\circ$), це припущення потребує подальшої прямої валідації з використанням методики СРАК; це плануємо реалізувати у наступних дослідженнях.

У результаті дослідження доведено значущі відмінності морфологічних параметрів колінних суглобів при медіальному остеоартриті, беручи до уваги нахил суглобової лінії, що визначений за авторською методикою. Враховуючи ці висновки, нульову гіпотезу дослідження відхилено.

Висновки

1. У результаті дослідження доведено значущі морфологічні відмінності параметрів колінного суглоба при остеоартриті з переважним ураженням медіального відділу залежно від нахилу суглобової лінії, що визначений за методикою (mJLO), розробленою авторами.

2. Встановлено значущі кореляції mJLO з ключовими кутовими параметрами положення осі нижньої кінцівки та конфігурації суглобових поверхонь, що дає змогу визначити цей фактор як чутливий індикатор структурних змін колінного суглоба при остеоартриті з переважним ураженням медіального відділу.

3. Як характерні ознаки дистального нахилу суглобової лінії (AD) визначено варусне положення осі нижньої кінцівки, нижчі значення анатомічного латерального дистального стегнового кута (aLDFA), анатомічного медіального проксимального великогомілкового кута (aMPTA), нахилу суглобової лінії (JLO) та вищі показники кута конвергенції суглобової лінії (JLCA). Значення aLDFA $79\text{--}83^\circ$, aMPTA $\leq 84^\circ$, JLCA $\geq 4,1^\circ$, JLO $<0^\circ$ визначено як прогностичні фактори AD.

4. Як специфічні прояви проксимального нахилу лінії колінного суглоба (AP) визначено вальгусне відхилення осі нижньої кінцівки, високі значення aLDFA, aMPTA, JLO та низькі показники JLCA.

5. Нейтральне положення суглобової лінії (AN) асоційоване з нейтральним положенням осі нижньої кінцівки та переважно проміжними значеннями досліджених морфометричних параметрів (порівняно з AD та AP). Значущо вищу ймовірність AN зафіксовано в обстежених зі значеннями $\alpha\text{LDFa} \geq 84^\circ$, $\alpha\text{MPTA} 85\text{--}90^\circ$, $\alpha\text{MPTA} \geq 91^\circ$, $\text{JLCA } 2,1\text{--}4,0^\circ$, $\text{JLO} > 0^\circ$.

Перспективи подальших досліджень. Доцільним є аналіз параметрів сагітальної морфології колінних суглобів при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях, враховуючи mJLO . Перспективним є порівняльний аналіз та оцінювання узгодженості вимірювань параметрів mJLO , що визначений за авторською методикою, та показника JLO , обчисленого за СРАК. Результати дослідження можуть бути використані для клінічної стратифікації пацієнтів із медіальним гонартрозом, що сприятиме удосконаленню підходу до обґрунтованого планування коригувальної остеотомії та ендопротезування колінного суглоба, враховуючи індивідуальні анатомічні параметри та дотримуючись принципів персоналізованої медицини. Перспективним напрямом наступних досліджень вважаємо проспективну валідацію моделі оцінювання здатності показника mJLO прогнозувати клінічний перебіг остеоартриту, зокрема інтенсивність больового синдрому та функціональні зміни, а також особливості вибору оптимального методу реконструктивного втручання, беручи до уваги індивідуальні структурні характеристики колінного суглоба.

Фінансування

Дослідження виконано без фінансової підтримки.

Конфлікт інтересів:

відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 28.09.2025

Після доопрацювання / Revised: 30.10.2025

Схвалено до друку / Accepted: 14.11.2025

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», м. Київ; професор каф. хірургії № 2, ПВНЗ «Київський медичний університет», Україна; лікар ортопед-травматолог вищої категорії.

ORCID ID: 0000-0003-2310-6345

Килимнюк Л. О., PhD, 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, Chief Researcher, Clinic of Sports and Ballet Injuries, SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv; Professor of the Department of Surgery No. 2, Higher Educational Establishment «Kyiv Medical University», Ukraine; Orthopedic and Trauma Surgeon of the Highest Qualification Category.

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



Любов Килимнюк (Liubov Kylymniuk)
kylymniuk@gmail.com

References

- Hsu CE, Chen CP, Wang SP, Huang JT, Tong KM, Huang KC. Validation and modification of the Coronal Plane Alignment of the Knee classification in the Asian population. *Bone Jt Open*. 2022;3(3):211-7. doi: 10.1302/2633-1462.33.BJO-2022-0001.R1
- Huber S, Mitterer JA, Vallant SM, Simon S, Hanak-Hammerl F, Schwarz GM, et al. Correction to: Genderspecific distribution of knee morphology according to CPAK and functional phenotype classification: analysis of 8739 osteoarthritic knees prior to total knee arthroplasty using artificial intelligence. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(11):5270-1. doi: 10.1007/s00167-023-07564-z. Erratum for: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(10):4220-30. doi: 10.1007/s00167-023-07459-z
- Pagan CA, Karasavvidis T, Lebrun DG, Jang SJ, MacDessi SJ, Vigdorchik JM. Geographic Variation in Knee Phenotypes Based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification: A Systematic Review. *J Arthroplasty*. 2023;38(9):1892-9.e1. doi: 10.1016/j.arth.2023.03.047
- Altamirano S, Jansen MP, Oberski DL, Eijkemans MJC, Mastbergen SC, Lafeber FP, et al. Identifying multivariate disease trajectories and potential phenotypes of early knee osteoarthritis in the CHECK cohort. *PLoS One*. 2023;18(7):e0283717. doi: 10.1371/journal.pone.0283717
- Roemer FW, Jarraya M, Collins JE, Kwok CK, Hayashi D, Hunter DJ, et al. Structural phenotypes of knee osteoarthritis: potential clinical and research relevance. *Skeletal Radiol*. 2023;52(11):2021-30. doi: 10.1007/s00256-022-04191-6
- MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, Bellemans J, Chen DB. Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) classification. *Bone Joint J*. 2021;103-B(2):329-37. doi: 10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1050.R1
- Kim SE, Yun KR, Lee JM, Lee MC, Han HS. Preserving coronal knee alignment of the knee (CPAK) in unicompartmental knee arthroplasty correlates with superior patient-reported outcomes. *Knee Surg Relat Res*. 2024;36(1):1. doi: 10.1186/s43019-023-00204-3
- Loddo G, An JS, Claes S, Jacquet C, Kley K, Argenson JN, et al. CPAK classification cannot be used to determine segmental coronal extra-articular knee deformity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2024;32(6):1557-70. doi: 10.1002/ksa.12168
- Morrissey Z, Cruse J, Barra M, Carroll T, Drinkwater C. Posterior tibial slope considered as an important addition to the CPAK classification system. *J Orthop*. 2024;51:54-9. doi: 10.1016/j.jor.2024.01.008
- Sohn S, Koh IJ, Kim MS, In Y. Risk factors and preventive strategy for excessive coronal inclination of tibial plateau following medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(4):561-9. doi: 10.1007/s00402-020-03660-8
- Cassar-Pullicino VN, Davies AM, editors. *Measurements in musculoskeletal radiology*. Berlin: Springer; 2020. 860 p. doi: 10.1007/978-3-540-68897-6
- Unal M, Ercan S, Budeyri A, Toprak U, Şalkacı A. Anatomical axis validation of lower extremity for different deformities: A radiological study. *SAGE Open Med*. 2020;8:2050312120923822. doi: 10.1177/2050312120923822
- The World Medical Association. (1964/2013). Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects [Internet]. Ferney-Voltaire: WMA; 2013 [cited 2025 June 9]. Available from: <https://www.wma.net/what-we-do/medical-ethics/declaration-of-helsinki/>
- Council of Europe. Konventsia pro zakhyst prav liudyny ta hidnosti liudyny shchodo zastosuvannya biolohii ta medytsyny: Konventsia pro prava liudyny ta biomedysynu [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
- Ministry of Health of Ukraine. [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] [Internet]. 2009 [cited 2025 Jul 9]. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1010-09#Text>
- Mulpur P, Desai KB, Mahajan A, Masilamani A, Hippalgaonkar K, Reddy AV. Radiological Evaluation of the Phenotype of Indian Osteoarthritic Knees based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification (CPAK). *Indian J Orthop*. 2022;56(12):2066-76. doi: 10.1007/s43465-022-00756-8
- Şenel A, Eren M, Sert S, Gürpınar T, Çarkçı E, Polat B. Phenotyping of the Turkish population according to Coronal Plane Alignment of the Knee classification: A retrospective cross-sectional study. *Jt Dis Relat Surg*. 2024;35(1):194-201. doi: 10.52312/jdrs.2023.1464

18. Agarwal S, Ayeni FE, Sorial R. Impact of change in coronal plane alignment of knee (CPAK) classification on outcomes of robotic-assisted TKA. *Arthroplasty*. 2024;6(1):15. doi: [10.1186/s42836-024-00239-1](https://doi.org/10.1186/s42836-024-00239-1)
19. Toyooka S, Osaki Y, Masuda H, Arai N, Miyamoto W, Ando S, et al. Distribution of Coronal Plane Alignment of the Knee Classification in Patients with Knee Osteoarthritis in Japan. *J Knee Surg*. 2023;36(7):738-43. doi: [10.1055/s-0042-1742645](https://doi.org/10.1055/s-0042-1742645)
20. Corban LE, van de Graaf VA, Chen DB, Wood JA, Diwan AD, MacDessi SJ. How often do we alter constitutional limb alignment, joint line obliquity, and Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) phenotype when performing mechanically aligned TKA? *Bone Jt Open*. 2024;5(2):109-16. doi: [10.1302/2633-1462.52.BJO-2023-0122](https://doi.org/10.1302/2633-1462.52.BJO-2023-0122)
21. Tsushima T, Sasaki E, Sakamoto Y, Kimura Y, Tsuda E, Ishibashi Y. Joint line convergence angle is the most associated alignment factor with the severity of medial knee osteoarthritis. *J Exp Orthop*. 2024;11(3):e70007. doi: [10.1002/jeo2.70007](https://doi.org/10.1002/jeo2.70007)
22. Şahbat Y, Chou TA, An JS, Gülağacı F, Ollivier M. CPAK classification detect the real knee joint apex position in less than half of the knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2024;32(6):1548-56. doi: [10.1002/ksa.12175](https://doi.org/10.1002/ksa.12175)