

УДК 616.728.3-089.843:612.76](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026119-26>

Визначення фенотипу колінного суглоба в українській популяції за СРАК-класифікацією

М. Д. Мороз¹, Р. А. Козак¹, О. А. Костогрив¹, Ю. О. Костогрив¹, М. Ю. Кириленко²

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

² Діагностичний центр «М24», Київ, Україна

Native coronal alignment of the knee joint demonstrates marked individual variability, which influences total knee arthroplasty planning and functional outcomes. The CPAK classification allows systematization of these anatomical variations based on the parameters aHKA and JLO. Although CPAK phenotypes have been described in several populations, data regarding the Ukrainian population have so far been lacking. Objective. To determine the characteristics of native lower-limb alignment and CPAK phenotypes of the knee joint in the Ukrainian population. Methods. A total of 500 full-length standing radiographs of the lower limbs were analyzed: 300 in the healthy group and 200 in the group with Kellgren-Lawrence grade III–IV osteoarthritis. LDFA and MPTA were measured, aHKA and JLO were calculated in accordance with CPAK principles, and knees were subsequently classified within the 3×3 CPAK matrix. Results. In the healthy group, the most common CPAK phenotypes were type II (24.7 %), type I (21.7 %), and type V (21.0 %). Neutral aHKA was observed in 47.3 %, varus in 39.3 %, and valgus in 13.3 %. The most frequent JLO orientation was apex distal (50.3 %). In sex-specific subgroups, type II predominated in males (28 %) and type V in females (25 %). In the osteoarthritis group, varus aHKA values predominated (58 %), with CPAK phenotypes I (35.5 %), IV (22 %), and II (19.5 %) being most common. Conclusions. This study describes for the first time the distribution of CPAK phenotypes of the knee joint in the Ukrainian population. Among healthy individuals, CPAK phenotypes I, II, and V were most prevalent, with neutral alignment observed in 47 %. In patients with grade III–IV osteoarthritis, a marked shift toward varus alignment was noted, with varus phenotypes accounting for 58 %, whereas neutral phenotypes were observed in only 34 %. These findings reflect population-specific patterns of native coronal knee alignment and may serve as a basis for further research into the clinical relevance of CPAK phenotypes and their impact on outcomes of total knee arthroplasty. Keywords. Knee joint, alignment, CPAK, aHKA, JLO, knee joint phenotypes.

Нативне вирівнювання колінного суглоба має виражену індивідуальну варіабельність, що впливає на планування тотального ендпротезування та кінцевий функціональний результат. Класифікація «Coronal Plane Alignment of the Knee» (CPAK) дозволяє систематизувати ці анатомічні варіанти на основі параметрів aHKA та JLO. Мета. Визначити особливості нативного вирівнювання нижньої кінцівки та CPAK-фенотипів колінного суглоба в українській популяції. Методи. Проаналізовано 500 панорамних рентгенограм нижніх кінцівок, які розподілено на 2 групи: 300 — група 1 — умовно здорові, 200 — 2 (остеоартроз III–IV ст. за Kellgren-Lawrence). Вимірювали tLDFA та tMPTA, розраховували aHKA та JLO згідно з принципами CPAK-класифікації, після чого виконували розподіл фенотипів у матриці CPAK 3 × 3. Результати. У здоровій групі найпоширенішими CPAK-фенотипами були тип II (24,7 %), I (21,7 %) та тип V (21,0 %). Нейтральний тип aHKA визначався у 47,3, варусний — у 39,3, вальгусний — у 13,3 %. Найчастіший варіант JLO — apex distal (50,3 %). У статевих підгрупах домінував тип II у чоловіків (28 %) та V у жінок (25 %). У групі остеоартрозу відзначалося переважання варусних значень aHKA (58 %) із домінуванням фенотипів I (35,5 %) та IV (22 %). Висновок. На основі нашого дослідження описано розподіл CPAK-фенотипів колінного суглоба в українській популяції. У групі 1 найпоширенішими були I, II та V типи з переважанням нейтрального вирівнювання у 47 %, а у 2 — I, II та IV типи, проте спостерігалося виразне зміщення в бік варусних варіантів: їхня частка була до 58 %, тоді як частота нейтральних фенотипів складала лише 34 %. Отримані результати відображають особливості нативного фронтального вирівнювання нижньої кінцівки й можуть слугувати основою для подальших досліджень, спрямованих на вивчення клінічного значення CPAK-фенотипів та їхнього впливу на результати тотального ендпротезування колінного суглоба.

Ключові слова. Колінний суглоб, вирівнювання, CPAK, aHKA, JLO, фенотипи колінного суглоба

Вступ

Упродовж багатьох років одним із основних принципів ендопротезування колінного суглоба (КС) вважалося відтворення стабільного суглоба з «нейтральною» віссю нижньої кінцівки. Такий підхід тривалий час розглядався як універсальний для отримання передбачуваних клінічних результатів. Незважаючи на високу ефективність цього методу, до 20 % пацієнтів залишаються незадоволеними результатом лікування. Найбільш поширеними скаргами в післяопераційному періоді є постійний больовий синдром, обмеження амплітуди рухів і відсутність очікуваного функціонального відновлення [1, 2]. Одним із можливих пояснень таких симптомів є неврахування індивідуальних анатомічних особливостей пацієнта.

Сучасні дослідження показали, що нейтральне вирівнювання нижньої кінцівки не є типовим для всіх хворих [3, 4], тому спроба привести вісь кінцівки до нейтрального положення під час хірургічного втручання може потребувати надмірного обсягу кісткових резекцій або додаткових м'якотканинних релізів. За таких умов нативна біомеханіка суглоба порушується, що клінічно проявляється довшим і складнішим процесом відновлення після операції.

За останнє десятиліття з'явилася значна кількість публікацій щодо аналізу нативного випрямлення КС. Їхні результати переконливо свідчать, що таке вирівнювання КС є дуже варіабельним, а помітна частка здорових людей має природну варусну або вальгусну вісь нижньої кінцівки [3–7]. Окремі роботи також були спрямовані на вивчення популяційних і статевих відмінностей у фенотипах КС. Дослідження М. Т. Hirschmann та співавт., Е. Sappey-Marinier, Т. Kobayashi та ін. визначили, що частота варусних, вальгусних і нейтральних фенотипів суттєво відрізняється залежно від етнічної групи та статі та може визначати характерні особливості біомеханіки КС [8–12].

Необхідність брати до уваги цю анатомічну варіабельність сприяла розвитку персоналізованих підходів до позиціонування імплантатів, в основі яких лежить урахування морфологічних фенотипів нижньої кінцівки, як важливого елемента передопераційного планування. Завдання ускладнюється тим, що в процесі прогресування артрозу нативне вирівнювання нижньої кінцівки змінюється, зазвичай у бік збільшення наяв-

ної деформації, що робить визначення початкової анатомічної осі надзвичайно складним.

Однією з найперспективніших сучасних методик, що дозволяє системно оцінювати індивідуальне фронтальне вирівнювання колінного суглоба, є класифікація «Coronal Plane Alignment of the Knee» (CPAK), у якій ключову роль відіграють арифметичний кут «стегно – коліно – надп'ятова кістка» (arithmetic Hip – Knee – Ankle angle — aHKA) та нахил суглобової лінії (Joint Line Orientation — JLO) [13].

У 2020 році S. J. MacDessi та співавт. запропонували концепцію aHKA та довели, що цей показник є надійним маркером конституційного вирівнювання колінного суглоба, незалежно від наявності артрозних змін [14]. Згодом, у 2021 році, введено поняття JLO, яке описує орієнтацію суглобової лінії за трьома чіткими категоріями — «верхівка проксимально», «верхівка дистально» та «нейтрально». Це дозволило усунути плутанину між поняттями фронтального вирівнювання кінцівки та нахилом самої суглобової поверхні.

Поєднання aHKA та JLO дало можливість сформуванню класифікації CPAK, яка наведена у вигляді матриці 3×3 та охоплює 9 морфологічних фенотипів КС. Ця система дозволяє точніше охарактеризувати індивідуальні варіанти вирівнювання та може слугувати орієнтиром для персоналізованих стратегій.

Попри значну кількість публікацій щодо морфологічного фенотипу КС у різних популяціях, інформації щодо особливостей фронтального вирівнювання серед українського населення на сьогодні не має. Це обмежує можливість коректного порівняння анатомічних показників та збільшує потенційний вплив фенотипових особливостей КС на результати хірургічного лікування.

В Україні останні роки зростає клінічний інтерес до індивідуалізації хірургічної тактики, що підтверджується національними дослідженнями стосовно відновлення нативної кінематики, оптимізації позиціонування імплантатів і порівняння різних концепцій вирівнювання під час тотального ендопротезування [16–19].

З огляду на це, доцільним є вивчення розподілу CPAK-фенотипів у вітчизняній популяції як анатомічної основи для обґрунтованого індивідуалізованого планування хірургічного лікування, із подальшим зіставленням отриманих результатів із даними, наведеними в європейських дослідженнях.

Мета: визначити особливості нативного вивчення нижньої кінцівки та СРАК-фенотипів колінного суглоба в українській популяції.

Матеріал і методи

Роботу виконували на базі ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» та діагностичного центру «М24» у період з серпня 2024 до жовтня 2025 року.

До аналізу було відібрано 500 рентгенограм КС пацієнтів української популяції, розподілених на дві групи відповідно до рентгенологічного стану суглоба. До групи 1 ($n = 300$) включали рентгенограми осіб віком від 18 років, які не мали скарг з боку КС, ознак їхньої деформацій або перенесених травм, а також хірургічних втручань на нижніх кінцівках в анамнезі. Обов'язковою умовою була повна відсутність рентгенологічних ознак патології КС. Група складалася зі 166 чоловіків і 134 жінок; середній вік становив $(44,95 \pm 13,17)$ року ($M \pm SD$).

До групи 2 ($n = 200$) включали рентгенограми пацієнтів із остеоартрозом III–IV ст. за класифікацією Kellgren-Lawrence. Із цієї групи виключали КС із посттравматичним остеоартрозом, перенесеним септичним артритом або станом після будь-якого оперативного втручання. Не включали також осіб із вираженими дефектами кісткової тканини виростків стегнової чи великогомілкової кісток, фронтальними деформаціями та контрактурами понад 20° , оскільки такі зміни могли впливати на точність рентгенологічних вимірювань. Демографічно група складалася з 89 чоловіків і 111 жінок; середній вік становив $(58,98 \pm 11,34)$ років ($M \pm SD$). Беручи до уваги, що після завершення скелетного росту основні анатомічні параметри кісткових структур нижньої кінцівки залишаються відносно стабільними, виявлену різницю у віці між групами не розглядали як чинник, що має вирішальний вплив на результати рентгенологічного аналізу.

Усім учасникам дослідження виконано осьові знімки в положенні стоячи з рівномірним навантаженням на обидві нижні кінцівки, за умов максимального розгинання в КС та орієнтації наколінків уперед. Контроль ротації нижніх кінцівок здійснювали шляхом оцінювання симетричності анатомічних орієнтирів, зокрема контуру малих вертлюгів стегнових кісток і положення наколінків.

В усіх випадках проводили стандартизовану побудову анатомічних і механічних осей та вимірювання основних референтних кутів відповідно до протоколу Paley (рис. 1) [20].

Вивчення рентгенологічних показників у групі здорових осіб виконувалося лікарем-рентгенологом із використанням програмного забезпечення QxLink (v3.3.12) відповідно до стандартизованого протоколу. Оцінювання рентгенологічних показників у групі пацієнтів з остеоартрозом здійснювалося в межах передопераційного планування з використанням програмного забезпечення mediCAD (v7.0). До аналізу включали лише панорамні рентгенограми, які вважали технічно коректними та придатними відповідно до загальноприйнятих критеріїв визначення якості осьових знімків [21].

Для визначення механічних та анатомічних осей нижньої кінцівки використовували такі референтні точки (рис. 2):

- центр стегнової кістки визначали за методом Mose [20];
- центр КС — за серединою між тібіальними виростками;
- центр над'ятково-гомількового суглоба — за серединою таранної кістки.

Після побудови цих осей розраховували основні референтні кути, які характеризують вирівнювання КС у фронтальній площині:

- mechanical Lateral Distal Femoral Angle (mLDFA) — механічний латеральний дистальний кут стегнової кістки визначали як кут між механічною віссю стегнової кістки та лінією дистальної суглобової поверхні стегна, яку проводили через найбільш дистальні точки медіального і латерального виростків;
- mechanical Medial Proximal Tibial Angle (mMPTA) — механічний медіальний проксимальний кут великогомілкової кістки визначали як кут між механічною віссю великогомілкової кістки та лінією її проксимальної суглобової поверхні, яку проводили через найбільш глибокі точки медіального й латерального плато.

У групі 1 середнє значення mLDFA становило $89,11^\circ \pm 2,05^\circ$. У групі 2 цей показник дорівнював $89,53^\circ \pm 1,96^\circ$. Відповідно, середні значення mMPTA склали $87,98^\circ \pm 2,28^\circ$ у групі 1 та $86,93^\circ \pm 2,25^\circ$ у 2.

Згідно з чинними рекомендаціями щодо використання СРАК-класифікації, на основі отриманих рентгенологічних вимірів додатково розраховували два похідні показники — аНКА та JLO [13]. Їх обчислювали за формулами:

$$\text{аНКА} = \text{MPTA} - \text{LDFA}, \quad (1)$$

$$\text{JLO} = \text{MPTA} + \text{LDFA}. \quad (2)$$

Негативні значення арифметичного кута аНКА інтерпретували як варусне конституційне вирівнювання (*varus*) нижньої кінцівки, тоді як позитивні — як вальгусне (*valgus*); значення, наближені до нуля, відповідали нейтральному вирівнюванню (*neutral*). Параметр орієнтації суглобової лінії (JLO) визначали як кут між лінією суглобової поверхні КС та горизонталлю: значення $JLO < 180^\circ$ відповідали орієнтації *apex distal*, $JLO \approx 180^\circ$ — *apex neutral*, $JLO > 180^\circ$ — *apex proximal*.

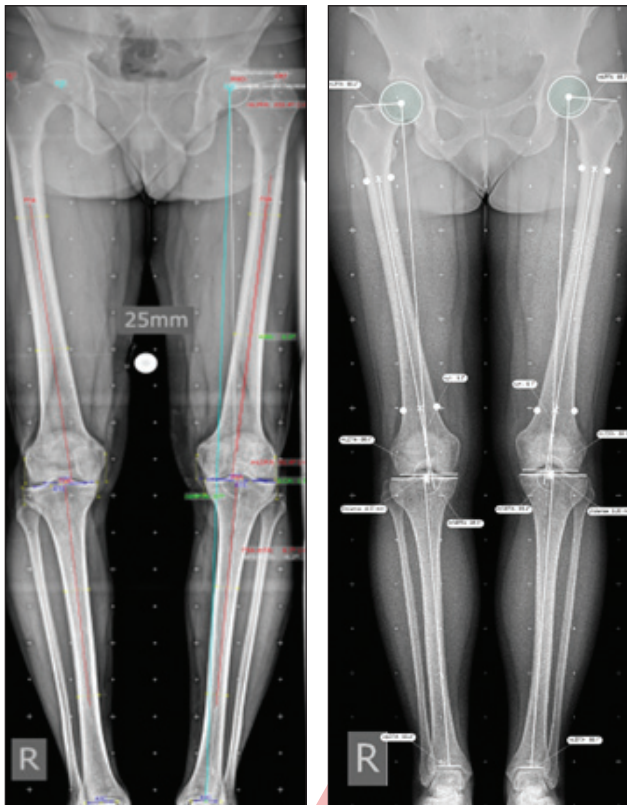


Рис. 1. Приклад використання для рентгенометричного аналізу програм QxLink для здорового КС і mediCAD для КС із ознаками остеоартрозу

На основі отриманих значень аНКА та JLO для кожного КС здійснювали розподіл за СРАК-класифікацією, яка наведена у вигляді матриці 3×3 (рис. 3). Вона поєднує 3 категорії конституційного вирівнювання (варусне, нейтральне, вальгусне) із 3 варіантами орієнтації суглобової лінії, формуючи 9 можливих морфологічних фенотипів. Отримані фенотипи реєстрували для подальшого порівняння між групами та статистичного аналізу.

Усі отримані значення заносили до єдиної бази даних, після чого проводили аналітичну та статистичну обробку.

Дослідження проведено в суворій відповідності до принципів біоетики, вимог законодавства та встановлених норм проведення біомедичних досліджень, як це викладено у Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації, Конституції України, Цивільному кодексі України, основах законодавства України про охорону здоров'я та Законі України «Про інформацію». Рентгенологічні обстеження виконувалися в межах стандартного клінічного діагностичного та лікувального процесу з отриманням письмової інформованої згоди пацієнтів на проведення обстеження та обробки медичних даних. Ретроспективний аналіз клінічних та рентгенологічних даних було схвалено комітетом з біоетики ДУ «ІТО НАМН України» (протокол № 8 від 25 листопада 2025 р.).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програм Microsoft Excel та Statistica 8.0. Для порівняння незалежних вибірок застосовували критерій Манна-Уїтні, а для аналізу парних вибірок — критерій Вілкоксона. Для оцінки взаємозв'язку між окремими рентгенометричними параметрами фронтального вирівнювання використовували кореляційний аналіз за Spearman. Отримані дані аналізували зі

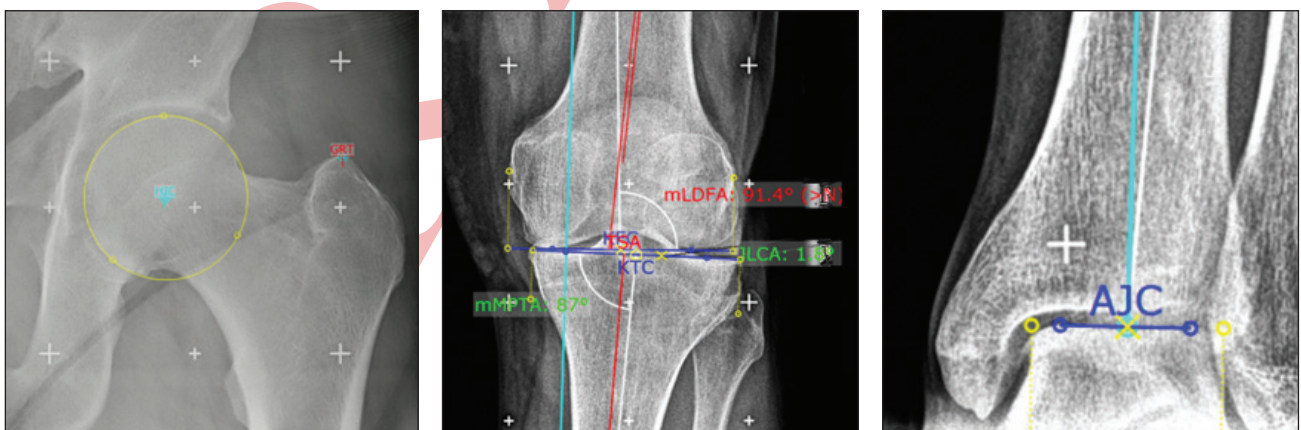


Рис. 2. Приклад визначення референтних точок відповідно до методики Paley

застосуванням стандартних методів описової статистики, що включали розрахунок обсягу вибірки (n), середнього арифметичного (M) та середньоквадратичного відхилення (SD). Рівень статистичної значущості встановлювали на рівні $p < 0,05$.

Результати

Із метою оцінювання внутрішньої узгодженості рентгенометричних показників проведено кореляційний аналіз (Spearman) на всій досліджуваній когорті. Виявлено статистично значущу кореляцію між $mLDFA$ й $aHKA$ ($\rho = -0,65$; $p < 0,001$), а також між $mMPTA$ та $aHKA$ ($\rho = 0,74$; $p < 0,001$), що підтверджує анатомічний взаємозв'язок між показниками фронтального вирівнювання стегнового та великогомілкового сегментів і внутрішню узгодженість вимірюваних параметрів.

Для визначення типового фенотипу фронтального вирівнювання нижньої кінцівки аналіз здійснювали за даними умовно здорової групи населення, оскільки саме ця когорта відображає нативну анатомічну варіабельність КС без вторинних змін, пов'язаних із дегенеративно-дистрофічним процесом.

Загалом виявлено 9 можливих комбінацій параметрів $aHKA$ та JLO . Аналізуючи $aHKA$ встановлено, що в умовно здорових пацієнтів переважає нейтральний тип вирівнювання, який зафіксовано у 142 випадках ($\approx 47,3\%$). Варусне вирівнювання спостерігалось у 118 ($\approx 39,3\%$), тоді як вальгусне — у 40 ($\approx 13,3\%$).

Параметр JLO підкреслив, що у 151 випадку ($\approx 50,3\%$) суглобова лінія мала орієнтацію *apex distal*. Нейтральна орієнтація JLO спостерігалась у 139 пацієнтів ($\approx 46,3\%$). Орієнтація суглобової лінії типу *apex proximal* була найрідкіснішою і визначалась лише у 10 випадках ($\approx 3,3\%$).

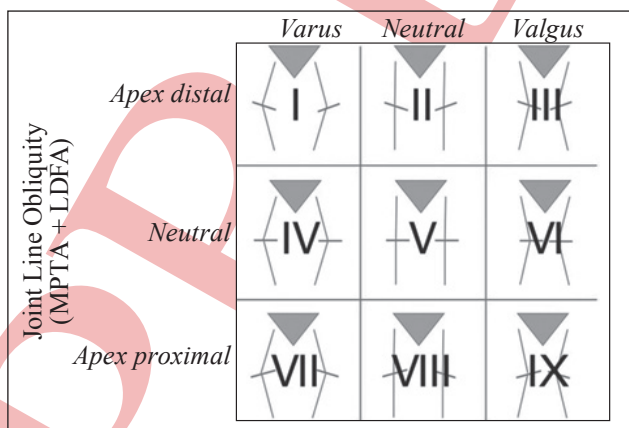


Рис. 3. Комбінації $aHKA$ та JLO , які формують фенотипи СРАК-матриці [13]

Таким чином, найбільш поширеними СРАК-фенотипами в умовно здоровій групі були II тип — 74 випадки ($\approx 24,7\%$), I — 65 ($\approx 21,7\%$) та V — 63 (21,0 %).

Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією в умовно здоровій групі ($n = 300$) наведено в табл. 1.

Для виявлення можливих особливостей нативного фронтального вирівнювання проведено окремий аналіз розподілу СРАК-фенотипів у підгрупах за статтю.

У чоловічій підгрупі найчастішим СРАК-фенотипом був тип II (28 %), за яким йшли типи I (24 %) та IV (19 %). У жіночій підгрупі структура розподілу мала дещо інший характер: провідним був тип V (25 %), тоді як II посідав друге місце (20 %), а I — третє (19 %).

У групі пацієнтів з остеоартрозом III–IV ст. під час аналізу $aHKA$ відзначалося суттєве переважання варусного типу вирівнювання, який реєстрували у 116 випадках (58 %). Нейтральні значення спостерігалися у 68 пацієнтів (34 %), тоді як вальгусний тип був найменш поширеним — 16 (8 %).

Щодо орієнтації суглобової лінії (JLO), здебільшого виявлено варіант *apex distal* — 118 випадків (59 %). Нейтральний JLO спостерігався у 78 випадках (39 %), тоді як *apex proximal* траплявся рідко — у 4 (2 %).

За СРАК-класифікацією найчастішим фенотипом був I тип — 71 випадок (35,5 %). Наступними за поширеністю були IV — 44 (22 %) та II — 39 осіб (19,5 %). Розподіл фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом наведено в таблиці 2.

Аналізуючи розподіл СРАК-фенотипів у хворих групи 2 з урахуванням статі встановлено, що в обох підгрупах переважали фенотипи, асоційовані з варусним фронтальним вирівнюванням та орієнтацією суглобової лінії типу *apex distal*.

У чоловічій підгрупі найчастішими були СРАК-фенотипи I ($\approx 48,3\%$), IV та II ($\approx 21,3\%$), що відображає виражене зміщення розподілу в бік варусних варіантів фронтального вирівнювання.

У жіночій підгрупі провідним також був СРАК-фенотип I ($\approx 25,2\%$), за яким за частотою розташовувалися фенотипи II ($\approx 22,5\%$) та V ($\approx 18,9\%$), що свідчить про більш рівномірний розподіл СРАК-фенотипів із відносно більшою часткою нейтральних варіантів порівняно з чоловіками.

Серед вальгусних різновидів фронтального вирівнювання частіше зустрічався фенотип III, із загальною частотою близько 6 % серед жіночої популяції та близько 3 % серед чоловічої.

Таблиця 1

Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією у групі 1

Параметр		аНКА			
		<i>Varus</i>	<i>Neutral</i>	<i>Valgus</i>	Усього
JLO	<i>Apex distal</i>	65	74	12	151
	<i>Neutral</i>	51	63	25	139
	<i>Apex proximal</i>	2	5	3	10
	Разом	118	142	40	300

Обмеження дослідження. Це спостереження має низку обмежень, які слід урахувати для інтерпретації результатів. Воно має ретроспективний описовий характер, що не дозволяє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між фронтальним вирівнюванням та розвитком остеоартрозу. Оцінювання торсійних деформацій стегна та гомілки не входило до завдань цього спостереження; аналіз кутових рентгенометричних параметрів ґрунтувався виключно на даних панорамної рентгенографії нижніх кінцівок, яка є загальноприйнятим і достатнім методом для оцінювання фронтального вирівнювання та визначення фенотипів за СРАК-класифікацією. Оскільки дослідження мало описовий характер і не передбачало статистичного порівняння когорт між собою, формальна оцінка варіабельності вимірювань не проводилася. Антропометричні та демографічні чинники, які можуть суттєво впливати на клінічний перебіг остеоартрозу, у цій роботі не аналізувалися, оскільки вони не є визначальними для визначення анатомічних кутових рентгенометричних параметрів фронтального вирівнювання нижньої кінцівки, що були основним предметом вивчення.

Незважаючи на зазначені обмеження, результати дослідження дозволяють окреслити характерні особливості розподілу СРАК-фенотипів у досліджуваній вибірці та формують основу для подальших проспективних досліджень.

Обговорення

У цій роботі здійснено аналіз особливостей фронтального вирівнювання КС на основі СРАК-класифікації, що використовує два ключові рентгенологічні параметри — арифметичний кут аНКА та нахил суглобової лінії JLO. Ці показники вважаються відносно стабільними в разі відсутності значних кісткових деформацій та відображають переважно нативне (конституційне) вирівнювання навіть у пацієнтів із наявним остеоартрозом. Отже, аналіз СРАК-фенотипів

Таблиця 2

Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією у групі 2

Параметр		аНКА			
		<i>Varus</i>	<i>Neutral</i>	<i>Valgus</i>	Усього
JLO	<i>Apex distal</i>	71	39	8	118
	<i>Neutral</i>	44	27	7	78
	<i>Apex proximal</i>	1	2	1	4
	Разом	116	68	16	200

у групі з остеоартрозом дозволяє інтерпретувати фронтальне вирівнювання не лише як наслідок дегенеративних змін, а й як можливе відображення початкової анатомії нижньої кінцівки.

Отримані результати підтверджують наявність значної нативної варіабельності фронтального вирівнювання КС. Найпоширенішими виявилися СРАК-фенотипи II, I та V, що загалом узгоджується з даними, опублікованими іншими європейськими науковцями, які також відзначають переважання варіантів із нейтральним або помірно варусним фронтальним вирівнюванням та орієнтацією суглобової лінії типу *apex distal* [3–5].

У групі пацієнтів з остеоартрозом III–IV ст. розподіл СРАК-фенотипів характеризувався вираженим зміщенням у бік варусних варіантів фронтального вирівнювання, при цьому найпоширенішими були I, IV та II. Переважання варусних фенотипів може бути пов'язане з біомеханічними особливостями навантаження медіального відділу КС та роллю початкового фронтального вирівнювання у формуванні дегенеративних змін. Водночас встановити причинно-наслідковий зв'язок у межах цього дослідження неможливо, оскільки його дизайн не передбачав проспективного спостереження або оцінювання нативного вирівнювання до розвитку дегенеративного процесу.

За результатами метааналізу G. Giurazza та співавт. [22] для європейської популяції описано переважання СРАК-фенотипів I та II у здорових осіб і збільшення частки варусних фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом. Водночас суттєвою особливістю розподілу СРАК-фенотипів у нашій національній когорті є значно нижча частота фенотипу III, зокрема серед жіночої популяції, порівняно з узагальненими європейськими даними. Така відмінність може відображати популяційні анатомічні особливості та підкреслює доцільність подальших багатоцентрових досліджень

CPAK-фенотипів із залученням більшої вибірки пацієнтів.

Отримані дані можуть мати практичне значення в контексті індивідуалізованого планування тотального ендопротезування колінного суглоба. Знання розподілу CPAK-фенотипів у конкретній популяції дозволяє краще інтерпретувати нативне фронтальне вирівнювання й уникати універсального підходу до відновлення механічної осі, що є особливо актуальним у світлі розвитку персоналізованих стратегій вирівнювання.

Висновки

Переважаання CPAK-фенотипів I, II та V в умовно здоровій групі свідчить про більшу поширеність нейтральних і помірно варусних варіантів фронтального вирівнювання нижньої кінцівки. Виявлені особливості розподілу CPAK-фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом, зокрема зміщення в бік варусного вирівнювання, підкреслюють потенційну роль початкової анатомії у формуванні дегенеративних змін. Отримані результати обґрунтовують доцільність урахування CPAK-фенотипу та нативного фронтального вирівнювання в разі персоналізованого планування тотального ендопротезування колінного суглоба.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження, зокрема проспективні когортні спостереження, необхідні для визначення того, чи є початковий фенотип ризиковим фактором дегенерації, або ж спостережуваний розподіл лише відображає вихідні анатомічні особливості популяції.

Інформація про фінансування. Стаття фінансована власним коштом.

Внесок авторів. Мороз М. Д. — концептуалізація дослідження, збір клінічного матеріалу, статистичний аналіз та інтерпретація отриманих результатів, написання основного тексту статті; Козак Р. А. — участь у підготовці рукопису, аналіз та узагальнення результатів дослідження, редагування тексту; Костоґриз О. А. — наукове керівництво дослідженням, методологічне консультування, критичний перегляд рукопису та затвердження остаточного варіанта статті; Костоґриз Ю. О. — збір клінічного матеріалу, систематизація та первинна обробка даних; Кириленко М. Ю. — виконання рентгенометричних вимірювань, аналіз і порівняння клініко-рентгенологічних показників.

Список літератури

- Bourne, R. B., Chesworth, B. M., Davis, A. M., Mahomed, N. N., & Charron, K. D. (2010). Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clinical orthopaedics & related research*, 468(1), 57–63. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1119-9>
- Kahlenberg, C. A., Nwachukwu, B. U., McLawhorn, A. S., Cross, M. B., Cornell, C. N., & Padgett, D. E. (2018). Patient satisfaction after total knee replacement: A systematic review. *HSS Journal®: the musculoskeletal journal of hospital for special surgery*, 14(2), 192–201. <https://doi.org/10.1007/s11420-018-9614-8>
- Hirschmann, M. T., Khan, Z. A., Sava, M. P., Von Eisenhart-Rothe, R., Graichen, H., Vendittoli, P., Riviere, C., Chen, A. F., Leclercq, V., Amsler, F., Lustig, S., & Bonnin, M. (2024). Definition of normal, neutral, deviant and aberrant coronal knee alignment for total knee arthroplasty. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 32(2), 473–489. <https://doi.org/10.1002/ksa.12066>
- Bellemans, J., Colyn, W., Vandenuecker, H., & Victor, J. (2012). The Chitranjan Ranawat award: Is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional Varus. *Clinical orthopaedics & related research*, 470(1), 45–53. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1936-5>
- Moser, L. B., Hess, S., Amsler, F., Behrend, H., & Hirschmann, M. T. (2019). Native non-osteoarthritic knees have a highly variable coronal alignment: A systematic review. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 27(5), 1359–1367. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05417-2>
- Thienpont, E., Schwab, P. E., Cornu, O., Bellemans, J., & Victor, J. (2017). Bone morphotypes of the Varus and valgus knee. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 137(3), 393–400. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2626-x>
- Cooke, D., Scudamore, A., Li, J., Wyss, U., Bryant, T., & Costigan, P. (1997). Axial lower-limb alignment: Comparison of knee geometry in normal volunteers and osteoarthritis patients. *Osteoarthritis and cartilage*, 5(1), 39–47. [https://doi.org/10.1016/s1063-4584\(97\)80030-1](https://doi.org/10.1016/s1063-4584(97)80030-1)
- Shetty, G. M., Mullaji, A., Bhayde, S., Nha, K. W., & Oh, H. K. (2014). Factors contributing to inherent Varus alignment of lower limb in normal Asian adults: Role of tibial plateau inclination. *The knee*, 21(2), 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.09.008>
- Huan, W., Mochizuki, T., Tanifuji, O., & Kawashima, H. (2022). Variability of functional knee phenotype for coronal alignment in advanced Varus knee osteoarthritis in the Japanese population. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 31(4), 1451–1461. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07248-0>
- Hess, S., Moser, L. B., Amsler, F., Behrend, H., & Hirschmann, M. T. (2019). Highly variable coronal tibial and femoral alignment in osteoarthritic knees: A systematic review. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 27(5), 1368–1377. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05506-2>
- Hwang, D., Wook Choi, M., Kim, S., Han, H., Bum Chang, C., Chul Lee, M., Lee, N., & Hyun Ro, D. (2023). Age and sex differences in coronal lower extremity alignment in a healthy Asian population. *The knee*, 45, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.09.009>
- Moser, L. B., Hess, S., De Villeneuve Bargemon, J., Faizan, A., LiArno, S., Amsler, F., Hirschmann, M. T., & Ollivier, M. (2022). Ethnic differences in knee phenotypes indicate the need for a more individualized approach in knee arthroplasty: A comparison of 80 Asian knees with 308 Caucasian knees. *Journal of personalized medicine*, 12(1), 121. <https://doi.org/10.3390/jpm12010121>
- MacDessi, S. J., Griffiths-Jones, W., Harris, I. A., Bellemans, J., & Chen, D. B. (2021). Coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification. *The bone & joint journal*, 103-B(2), 329–337. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.103b2.bjj-2020-1050.r1>
- MacDessi, S. J., Griffiths-Jones, W., Harris, I. A., Bellemans, J., & Chen, D. B. (2020). The arithmetic HKA (aHKA) predicts the constitutional alignment of the arthritic knee compared to the normal contralateral knee. *Bone & joint open*, 1(7), 339–345. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.17.bjo-2020-0037.r1>
- Hirschmann, M. T., Hess, S., Moser, L. B., Robertson, E. L., & Leclercq, V. (2022). Phenotypes of the knee and limb: Rationale for transitioning toward personalized alignment in total knee arthroplasty. *Calipered kinematically aligned total*

- knee arthroplasty*, 6–12. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-75626-6.00002-0>
16. Golovakha, M., & Bondarenko, S. (2023). Use of an individual tool for kinematic alignment of the limb axis during knee arthroplasty (clinical case). *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 80–85. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023180-85>
 17. Zazirnyi, I. (2024). Computer navigation and robotic surgery during total knee arthroplasty. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 64–69. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024164-69>
 18. Golovakha, M., & Bondarenko, S. (2025). Assessment of the accuracy of reproduction of the lower limb axis using an individual instrument during endoprosthetics with kinematic alignment of the knee joint. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (2), 52–57. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025252-57>
 19. Moroz, M., Kozak, R., Kostogryz, O., & Bondar, V. (2025). Evaluation of the efficacy of kinematic and mechanical alignment in primary total knee arthroplasty during the early postoperative period. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (3), 53–60. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025353-60>
 20. Paley, D. (2002). *Normal Lower Limb Alignment and Joint Orientation. In: Principles of Deformity Correction*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59373-4_1
 21. Marques Luís, N., & Varatojo, R. (2021). Radiological assessment of lower limb alignment. *EFORT Open reviews*, 6(6), 487–494. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.210015>
 22. Giurazza, G., Tanzilli, A., Franceschetti, E., Campi, S., Gregori, P., Parisi, F. R., Paciotti, M., Perricone, G., Zampogna, B., & Papalia, R. (2025). Coronal plane alignment of the knee phenotypes distribution varies significantly as a function of geographic, osteoarthritic and sex-related factors: A systematic review and meta-analysis. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 33(10), 3592–3605. <https://doi.org/10.1002/ksa.12704>

Стаття надійшла до редакції 03.12.2025	Отримано після рецензування 02.02.2026	Прийнято до друку 10.02.2026
---	---	---------------------------------

DEFINITION OF THE KNEE PHENOTYPE IN THE UKRAINIAN POPULATION BASED ON THE CPAK CLASSIFICATION

M. D. Moroz ¹, R. A. Kozak ¹, O. A. Kostogryz ¹, Y. O. Kostogryz ¹, M. Yu. Kyrylenko ²

¹ Diagnostic Center «M24», Kyiv, Ukraine

² SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

✉ Mykola Moroz: moroznd@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4134-1322>

✉ Roman Kozak: ra.kozak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5132-027X>

✉ Oleg Kostogryz, MD, DMedSci: arztkostogryz@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-9533-9247>

✉ Yuriy Kostogryz, MD, PhD: Arzt@i.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7187-298X>

✉ Mykola Kyrylenko: nikolakyrylenko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-0872-6638>