УДК 616.831-009.12-053.2:[616.728.2-001.6-073.7:004]](048.8)

DOI: http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720263119-128

3D-КТ оцінка морфології ацетабулярної западини в дітей із дитячим церебральним паралічем: синтез доказових даних

В. В. Філіпчук, М. В. Мельник, В. І. Гуцайлюк

ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

Hip pathology is one of the most common orthopedic complications in children with cerebral palsy (CP). Standard radiography with assessment of the Reimers migration percentage remains the main screening tool. Objective. To summarize current evidence on the role of three-dimensional computed tomography in assessing the shape, orientation, and localization of acetabular defects in children with CP and spastic hip subluxation or dislocation. Methods. The study employed the PRISMA methodology, involving the structured analysis of data in accordance with the standards for systematic reviews and meta-analyses. A quantitative synthesis of statistical outcomes from 10 studies was performed, and graphical representations of the results (forest-style diagram) were used to identify trends across the included studies. The literature search was conducted in PubMed, Google Scholar, Scopus Studies assessing 3D CT parameters of acetabular morphology, spatial femoral head coverage, and their association with migration percentage were included. Results. The summarized evidence indicates that acetabular dysplasia in CP has a multivector and direction-specific pattern. Increasing migration percentage is associated with progressive lateral acetabular opening, loss of femoral head coverage, and femoral deformity components, particularly coxa valga. Three-dimensional CT enables detection of posterosuperior and posterolateral acetabular deficiency, which may be underestimated on standard radiographs. A migration percentage of ≥ 30 % is associated with initial structural changes, ≥ 50 % with marked dysplasia, and ≥ 80 % with complete hip dislocation. Conclusions. Three-dimensional CT is a valuable adjunct to radiography in children with CP, particularly in cases of high migration percentage, complex deformity, and preoperative planning of reconstructive procedures. Combining migration percentage as a screening parameter with 3D CT as a spatial assessment tool may improve the evaluation of acetabular dysplasia severity and support individualized surgical decision-making. Keywords. Cerebral palsy, acetabulum, acetabular dysplasia, 3D-CT, computed tomography, migration percentage, Reimers index, hip displacement.

Патологія кульшового суглоба є одним із найчастіших ортопедичних ускладнень у дітей із дитячим церебральним паралічем (ДЦП). Стандартна рентгенографія з визначенням індексу міграції Reimers залишається основним методом скринінгу. Мета. Узагальнити сучасні дані щодо можливостей 3D-комп'ютерної томографії у визначенні форми, орієнтації та локалізації ацетабулярних дефектів у дітей із ДЦП за спастичного підвивиху або вивиху стегна. Методи. Використано методологію PRISMA: дослідження структурованих даних згідно зі стандартами систематичних оглядів та метааналізу. Проведено кількісний синтез статистичних показників у 10 дослідженнях, використано графічне зображення результатів (forest-style діаграми) для визначення тенденцій згаданих публікацій. Пошук здійснювали в PubMed, Google Scholar, Scopus До аналізу включали cnfnns, в яких оцінювали 3D-КТ параметри ацетабулярної морфології, просторове покриття головки стегнової кістки та їхній зв'язок з індексом міграції. Результати. Узагальнення даних показало, що ацетабулярна дисплазія за ДЦП має багатовекторний і напрямлено-специфічний характер. Зі збільшенням індексу міграції прогресують латеральне відкриття западини, дефіцит покриття та феморальні компоненти деформації, зокрема coxa valga. 3D-КТ дозволяє виявити задньоверхній і задньолатеральний дефіцити, які можуть недооцінюватися на стандартних рентгенограмах. Значення індексу міграції ≥ 30 % асоціюється з початковими структурними змінами, ≥ 50 % — з вираженою дисплазією, а ≥ 80 % — з повним вивихом кульшового суглоба. Висновки. 3D-КТ є цінним доповненням до рентгенографії у дітей із ДЦП, особливо в разі високого індексу міграції, складної деформації та планування реконструктивних втручань. Поєднання індексу міграції як скринінгового показника та 3D-КТ як методу просторового оцінювання дозволяє точніше визначати тяжкість ацетабулярної дисплазії та індивідуалізувати хірургічну тактику.

Ключові слова. Дитячий церебральний параліч, ацетабулярна западина, ацетабулярна дисплазія, 3D-КТ, індекс міграції, індекс Reimers, підвивих стегна, спастичний вивих стегна

© Філіпчук В. В., Мельник М. В., Гуцайлюк В. І., 2026

PREVIEW

Вступ

Патологія кульшового суглоба є одним із найчастіших ортопедичних ускладнень у дітей із дитячим церебральним паралічем (ДЦП), особливо в пацієнтів із вираженими руховими розладами. Стандартним інструментом скринінгу та динамічного спостереження залишається індекс міграції Reimers (migration percentage, IM), який відображає ступінь латералізації головки стегнової кістки на оглядовій рентгенограмі таза. У сучасних оглядах наголошується, що IM > 30 % вважається патологічним і потребує ретельного динамічного спостереження, а зі зростанням IM посилюються вторинні деформації кульшового суглоба [1].

Відомо, що нейрогенне зміщення головки стегнової кістки виконують відповідно до методу індексу міграції (IM). Reimers класифікував підвивих стегна, як IM = 33 % та більше, що призводить до подальшого прогресування нестабільності кульшового суглоба. W. J. W. Sharrard та співавт. вважають, що IM 33–40 % — це кульшові суглоби у «групі ризику», а от IM ≥ 40 % мали саме більший ризик до прогресування. Дані були стратифіковані за 10 % кроком IM, і значне збільшення підтверджує використання IM = 30 %, як момент для виявлення захворювань кульшового суглоба в дітей з ДЦП і ретельного спостереження. Щодо ризиків прогресування зміщення стегна, дані узгоджувалися з висновками дослідження W. J. W. Sharrard, яке показало, що значне та постійне збільшення КТ-AI відбувається, коли IM становить від 40 до 80 % [19]. Отже спастична дисплазія кульшового суглоба є станом, який прогресує.

Разом із тим рентгенографія має обмеження щодо просторової оцінки ацетабулярної западини. У дітей зі спастичними контрактурами, перекосом таза та патологічною поставою 2D-проєкції можуть неадекватно відображати реальну орієнтацію западини, особливо в аспекті переднього, заднього та задньолатерального дефіциту покриття. Саме тому 3D-комп'ютерна томографія (КТ) розглядається як метод, що дозволяє точніше оцінити форму, нахил, та локалізацію дефекту ацетабулярної западини [2].

Класичні КТ-дослідження показали, що за спастичного вивиху стегна в дітей з ДЦП деформація западини має невипадковий характер: описано «каналоподібну» деформацію западини та переважно задньоверхній напрямок зміщення головки. У подальших роботах було продемонстровано, що основний дефіцит ацетабулярного покриття часто збігається з напрямом підвивиху або вивиху стегнової кістки, а сучасні 3D-реконструкції дали змогу кількісно пов'язати ступінь ацетабулярної дисплазії зі зростанням IM [3]. Техніка 3D-вимірної реконструкції КТ-зображень дозволяє лікарям-ортопедам досліджувати морфологію всієї ацетабулярної западини.

Окремого значення набуває питання скелетної зрілості. Історично частина класифікацій і рішень щодо результатів лікування в ДЦП-асоційованій патології кульшового суглоба орієнтувалася на закриття трирадіантного хряща (*triradiate cartilage*), як межу скелетної зрілості. Водночас нові дані свідчать, що у неходячих пацієнтів із ДЦП прогресування зміщення може тривати і після закриття *triradiate cartilage*, причому вихідний IM на момент закриття та перекос таза є незалежними предикторами несприятливого перебігу [4].

У зв'язку з цим систематизація даних про 3D-КТ-морфологію ацетабулярної западини, її кореляцію з IM та зміну цих взаємозв'язків у контексті скелетної зрілості є клінічно важливою. Вона дозволяє точніше інтерпретувати тяжкість нейрогенної ацетабулярної дисплазії, покращує хірургічне планування та допомагає уточнити порогові значення IM, за яких рентгенологічне спостереження вже не відображає повною мірою обсяг просторової деформації [5]. Це підтверджує, що в разі високих значень IM та підозрі на складну ацетабулярну деформацію доцільним є доповнення рентгенографії 3D-КТ для більш точного передопераційного планування.

Мета: узагальнити сучасні дані щодо можливостей 3D-комп'ютерної томографії у визначенні форми, орієнтації та локалізації дефектів ацетабулярної западини у дітей із ДЦП за спастичного підвивиху або вивиху стегна, а також оцінити зв'язок цих параметрів з індексом міграції та їхнє значення для передопераційного планування.

Матеріал і методи

Дослідження виконано у форматі систематичного огляду літератури з елементами описового синтезу відповідно до рекомендацій PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Метою було узагальнення сучасних даних щодо тривимірного (3D-КТ) оцінювання форми, орієнтації та локалізації дефектів ацетабулярної западини в дітей із дитячим церебральним паралічем, а також аналіз їхнього

PREVIEW

зв'язку з індексом міграції (migration percentage, IM) та функціональним статусом пацієнтів [6, 7].

Пошук літератури здійснювався в міжнародних наукометричних базах даних PubMed, Google Scholar та Scopus. Додатково були використані дослідження, надані для виконання роботи, що відповідали тематиці аналізу. Пошукова стратегія включала комбінації ключових слів «cerebral palsy», «acetabulum», «acetabular dysplasia», «computed tomography», «3D CT», «migration percentage», «Reimers index» та «hip displacement». Перевага надавалася публікаціям, які містили кількісні морфометричні дані та результати КТ-аналізу.

До аналізу включалися оригінальні клінічні дослідження, у яких брали участь діти з ДЦП, проводилося оцінювання ацетабулярної морфології за допомогою КТ або 3D-КТ, та аналізувався зв'язок із індексом міграції. Обов'язковою умовою включення була наявність кількісних показників, які характеризують просторову орієнтацію або форму западини. Виключалися оглядові роботи без власних даних, клінічні випадки, дослідження без КТ-аналізу, а також публікації, у яких не було наведено інформації щодо IM або ацетабулярних параметрів.

Відбір досліджень здійснювався поетапно відповідно до принципів PRISMA: після ідентифікації записів у базах даних проводилося видалення дублікатів, далі виконували скринінг за назвами й анотаціями, після чого здійснювалося повнотекстове вивчення статей. У фінальний аналіз було включено 10 публікацій, які відповідали встановленим критеріям і містили релевантні кількісні дані для подальшого узагальнення.

У включених дослідженнях оцінювалися як рентгенологічні, так і тривимірні параметри. Основними КТ-показниками були антеторсія ацетабулярної западини, просторовий нахил (tilt), об'єм і площа западини, а також тривимірні індекси дефіциту покриття (зокрема 3D-AI) та CT migration percentage (CT-MP). Як основний рентгенологічний показник використовували індекс міграції за Reimers. Додатково враховували клінічні характеристики пацієнтів, зокрема вік і рівень функціональних порушень за шкалою Gross Motor Function Classification System (GMFCS).

Аналіз отриманих даних проводився шляхом описового синтезу результатів. У зв'язку з гетерогенністю включених досліджень, що проявлялася у відмінностях методів КТ-вимірювань, вікових груп пацієнтів і набору морфометричних параметрів, проведення повноцінного кількісного метааналізу було обмеженим. Натомість виконано порівняльний аналіз результатів між дослідженнями з акцентом на кореляцію між індексом міграції та параметрами ацетабулярної морфології, а також на визначення напрямів локалізації дефекту западини.

Для оцінювання взаємозв'язку між IM і параметрами ацетабулярної морфології аналізувалися коефіцієнти кореляції (r), рівні статистичної значущості (p), а також напрям змін показників у різних дослідженнях. Додатково проводився порівняльний аналіз порогових значень IM (30, 50, 80 %), як клінічно значущих маркерів прогресування патології.

Узагальнення результатів здійснювалося шляхом аналізу тенденцій (trend analysis across studies) та візуалізації напряму ефектів у вигляді forest-style діаграми. Такий підхід дозволив оцінити узгодженість результатів між дослідженнями та визначити домінуючі закономірності змін морфології кульшового суглоба за ДЦП.

Оцінювання якості включених статей здійснювалося з урахуванням їхнього дизайну, розміру вибірки, наявності контрольних груп і використання валідованих морфометричних показників. Більшість публікацій відповідали рівню доказовості III–IV, що є типовим для ортопедичних морфометричних досліджень у педіатричній популяції.

Робота є оглядом літератури та не передбачала втручання за участю пацієнтів або використання персональних медичних даних, тому не потребувала схвалення комітету з біоетики та отримання інформованої згоди.

Результати

До узагальненого аналізу було включено 10 публікацій, які оцінювали морфологію кульшового суглоба в дітей із ДЦП із застосуванням рентгенологічних та 3D-КТ методів. Загальна вибірка перевищувала 800 кульшових суглобів, що дозволило провести порівняльний аналіз між різними віковими групами, рівнями функціонального дефіциту та ступенем зміщення головки стегнової кістки.

У всіх включених дослідженнях продемонстровано, що зростання IM асоціюється з прогресуванням морфологічних змін западини. Зокрема, у роботі M. Jóźwiak зі співавт., проведено детальний 3D-КТ аналіз просторової орієнтації западини. Автори показали, що в пацієнтів зі спастичним підвивихом і вивихом стегна спостерігається достовірне зменшення антеторсії ацетабулярної западини, збільшення інклінації та зменшення

PREPRINT

показника tilt порівняно з типовими значеннями. Крім того, об'єм западини в таких пацієнтів був майже вдвічі меншим (17,6 мл проти 31,5), а площа поверхні також значно знижена. Важливо, що саме ІМ виявився незалежним фактором, який впливає на всі зазначені морфометричні параметри, включаючи антеторсію, об'єм і площу западини [8].

Аналогічні тенденції продемонстровано у класичному 3D-КТ дослідженні S. Gose зі співавт., в якому було проведено детальний морфометричний аналіз ацетабулярної дисплазії в дітей із двобічним спастичним ДЦП із використанням 3D-КТ, що дозволило усунути похибки позиціонування й отримати точні просторові характеристики кульшового суглоба. Проаналізовано 150 кульшових суглобів у 75 пацієнтів (середній вік 5,4 роки), при цьому в 82 % випадків центр головки стегнової кістки був зміщений латерально, вгору та дозаду відносно ацетабулярного центра. Встановлено, що збільшення латерального кута відкриття западини (CTa) відображає вертикалізацію даху западини та зменшення латерального покриття головки стегнової кістки, що призводить до прогресування латерального зміщення. Це проявляється зростанням CT migration percentage (CT-MP), який є кількісним показником нестабільності кульшового суглоба та відображає його прогресування. Крім того, значення CTa й CT-MP були достовірно вищими в пацієнтів із тяжчими формами ДЦП (GMFCS IV–V) порівняно з рівнями II–III, що свідчить про вплив функціонального статусу на ступінь ацетабулярної дисплазії. Показник CTb (сагітальна інклінація) також корелював із вираженістю ацетабулярного дефекту за даними 3D-реконструкції. Таким чином, результати дослідження підтверджують можливість кількісного оцінювання як ацетабулярної геометрії, так і ступеня підвивиху/вивиху за допомогою 3D-КТ незалежно від патологічної пози пацієнта [9].

У дослідженні S. Gose зі співавт. проведено тривимірний морфометричний аналіз проксимального відділу стегнової кістки в дітей із спастичним ДЦП із використанням 3D-КТ, що дозволило оцінити взаємозв'язок між феморальними параметрами та ступенем зміщення кульшового суглоба. Проаналізовано 186 кульшових суглобів у 93 пацієнтів (середній вік 5,3 року), при цьому середній шийково-діафізарний кут становив 150,4° ± 9,4°, а середня феморальна антеторсія — 44,4° ± 13,6°. Встановлено помірну позитивну кореляцію між CT-MP та шийково-діафізарним кутом ($r = 0,49$), що свідчить про асоціацію підвищеного ІМ із розвитком *coxa valga*. Натомість значущого зв'язку між CT-MP і феморальною антеторсією не виявлено ($r = 0,26$), що вказує на меншу роль цього параметра в прогресуванні зміщення. Крім того, у пацієнтів із тяжчими формами ДЦП (GMFCS IV–V) спостерігалися вищі значення CT-MP, шийково-діафізарного кута й антеторсії за одночасної деформації остеохондрального переходу «головка – шийка» (зменшенні феморального offset). Отримані результати підтверджують, що патологія кульшового суглоба за ДЦП має комплексний характер і включає не лише ацетабулярні, а й феморальні компоненти, які необхідно враховувати під час оцінювання та планування лікування [10].

Аналіз багатовекторних параметрів ацетабулярної морфології показав, що деформація не обмежується лише латеральним дефектом покриття. У роботі M. K. Chung зі співавт. здійснено мультипланарний аналіз западини зі застосуванням трьох напрямлених індексів (передньоверхнього, верхньолатерального та задньоверхнього). Автори показали, що всі три показники достовірно зростають зі збільшенням ІМ, причому цей зв'язок зберігається навіть після корекції на вік, стать та GMFCS. Це свідчить про несекторальний вплив зміщення головки стегнової кістки на формування ацетабулярної дисплазії, а також про її багатовекторний характер [11].

Важливим доповненням до розуміння тривимірної патології кульшового суглоба є результати дослідження A. N. Syed зі співавт., яке продемонструвало наявність виражених аксіальних деформацій таза в пацієнтів із тяжкими формами ДЦП (GMFCS IV–V). За даними КТ-аналізу встановлено, що у хворих із нейром'язовим сколіозом відзначається значна асиметрія ротації півтаза: кут зовнішньої ротації клубового крила становив 47,3° ± 18,1° порівняно з 26,4° ± 3,7° у контрольній групі ($p < 0,001$), тоді як показники крижових крил також були достовірно вищими як для зовнішньої (119,5° проти 111,2°; $p < 0,001$), так і внутрішньої ротації (114,1° проти 107,9°; $p = 0,001$). Крім того, виявлено кореляцію між ступенем сколіозу (кут Cobb) та ротаційними змінами таза, зокрема для зовнішньої ротації клубового крила ($r = 0,457$ $p = 0,004$). Отримані результати свідчать, що таз у пацієнтів із ДЦП має асиметричну просторову орієнтацію, яка пов'язана з тяжкістю деформації хребта й може впливати на біомеханіку кульшового суглоба. Це підкреслює необхідність урахування аксіальних деформацій таза під

PREPRINT

час оцінювання ацетабулярної морфології та планування ортопедичних втручань [12].

У роботі D. Grisch зі співавт. виконано порівняльний аналіз ацетабулярної морфології у дітей із ДЦП із використанням тривимірної КТ та традиційних рентгенологічних методів. У дослідження було включено 33 пацієнти з ДЦП, яким виконували реконструктивні втручання на кульшовому суглобі та контрольну групу з 42 дітей без патології. Автори застосували тривимірний ацетабулярний індекс (3D-AI), що включає передньоверхній, верхньолатеральний і задньоверхній компоненти для визначення дефіциту покриття. Встановлено, що в пацієнтів із ДЦП значення 3D-AI достовірно підвищені в усіх напрямах, що свідчить про виражену багатовекторну ацетабулярну дисплазію. Водночас показано, що традиційні рентгенологічні параметри, зокрема ІМ, мають кращу дискримінативну здатність щодо виявлення вивиху та тісно корелюють із 3D-AI ($p < 0,001$), що підтверджує їхню клінічну значущість. Висока відтворюваність методу (ICC = 0,939–0,988) свідчить про його надійність. Таким чином, 3D-КТ дозволяє не лише кількісно оцінити ступінь ацетабулярного дефекту, але й визначити його напрямок, що є принципово важливим для планування хірургічної корекції та покращення післяопераційних результатів [13].

Під час дитячого церебрального параліча ацетабулярна дисплазія має вторинний характер і формується внаслідок тривалого м'язового дисбалансу та патологічного навантаження. Як показано у включених дослідженнях, дефіцит покриття за ДЦП має чіткий напрямлений характер і відповідає вектору зміщення головки стегнової кістки — латерально, вгору та дозаду. Це призводить до формування задньоверхнього або задньолатерального дефіциту, який можна розглядати як «каналоподібний» шлях підвивиху або вивиху [9, 10].

Таким чином, ацетабулярна недостатність за ДЦП має напрямлено-специфічний характер, формується вторинно і тісно пов'язана з біомеханікою патологічного руху, м'язовим дисбалансом і положенням таза. Це підкреслює принципову різницю між «звичайним» диспластичним вивихом і спастичним вивихом за ДЦП, що має важливе значення для вибору тактики хірургічної корекції.

Отримані дані логічно узгоджуються з результатами інших тривимірних досліджень, які демонструють, що ацетабулярна деформація за ДЦП має не випадковий, а напрямлено-специфічний характер. За даними 3D-КТ у більшості випадків головка стегнової кістки зміщується латерально, вгору та дозаду, формуючи своєрідний «каналоподібний» шлях виходу з ацетабулярної западини. Це узгоджується з результатами S. Gose та співавт., які показали латеральноверхньозаднє зміщення центра головки у 82 % кульшових суглобів, а також із висновками M. Jóźwiak та співавт., де орієнтація западини за спастичного ураження була спотворена в задньоверхньому напрямі. Додатково M. K. Chung та співавт. зазначають, що основний ацетабулярний дефіцит збігається з напрямом підвивиху або вивиху, а в разі прогресування патології первинний задній дефіцит поєднується з глобальною дисплазією. Таким чином, за ДЦП напрямок дефекту ацетабулярної «канавки» можна охарактеризувати як переважно задньоверхній, із задньоверхньолатеральним вектором, він формується в напрямку, що відповідає патологічному зсуву головки стегнової кістки і має більш тісний зв'язок із м'язовим дисбалансом, тазовою асиметрією та рівнем GMFCS, що безпосередньо впливає на вибір типу реконструктивного втручання.

Таблиця 1

Узагальнення статистичних взаємозв'язків між індексом міграції та морфологічними параметрами кульшового суглоба в дітей із ДЦП

Автор	Параметр	Тип зв'язку	Сила асоціації	Статистична значущість
S. Gose та співавт., 2010	ІМ — шийково-діафізарний кут	Позитивна кореляція	r = 0,49	—
S. Gose та співавт., 2009	CT-MP — CTa	Позитивна асоціація	—	значуща
M. Chung та співавт., 2017	ІМ — ацетабулярні індекси	Незалежний позитивний вплив	—	$p < 0,05$
D. Grisch та співавт., 2025	ІМ — 3DAI	Сильна позитивна кореляція	—	$p < 0,001$
N. Wang та співавт., 2023	ІМ — ацетабулярний індекс	Порогова залежність	—	$p < 0,001$
A. Syed та співавт., 2024	Cobb angle — ротація таза	Позитивна кореляція	r = 0,457–0,506	$p < 0,01$
S. Gose та співавт., 2011	ІМ — CTa, NSA	Позитивна асоціація	—	$p \leq 0,001$

PREPRINT

Узагальнені статистичні взаємозв'язки між індексом міграції та морфологічними параметрами наведено в таблиці 1.

У дослідженні N. K. Wang та співавт. було проведено аналіз зв'язку між структурними змінами западини та ІМ у дітей із ДЦП із використанням реконструктивної 3D-КТ. У вибірці з 70 пацієнтів (середній вік 8,2 року) встановлено, що ацетабулярний індекс достовірно зростає зі збільшенням ІМ, причому найбільш значущі зміни спостерігалися між інтервалами 20–29 та 30–39 % ($p < 0,001$), що дозволило визначити ІМ ≥ 30 % як поріг початкових структурних змін кульшового суглоба. Подальше зростання ІМ супроводжувалося прогресуванням дисплазії, зокрема в разі значень понад 50 % відзначалося достовірне збільшення задньолатерального ацетабулярного індексу, що свідчить про формування задньолатерального дефіциту покриття. У разі ІМ більше 80 % спостерігалися стабільні значення ацетабулярного індексу, що відповідало повному вивиху та відсутності контакту між головкою стегнової кістки й западини. Таким чином, результати дослідження підтверджують, що ІМ є не лише показником положення головки стегнової кістки, а й відображає ступінь структурної перебудови ацетабулярної западини та може бути використаний для стратифікації тяжкості патології кульшового суглоба в дітей із ДЦП [14].

Дані S. Gose та співавт. додатково підтверджують, що зі зростанням ІМ відбувається достовірне збільшення латерального відкриття западини та зміна його просторової орієнтації, що узгоджується з прогресуванням дисплазії. У дослідженні проведено валідацію класифікації Robin and Graham для патології кульшового суглоба в дітей із ДЦП із використанням тривимірної КТ. Було проаналізовано 91 кульшовий суглоб у дітей віком 2–6 років із двобічним спастичним ДЦП, яких розподілено на групи залежно від величини ІМ. За результатами 3D-КТ встановлено достовірні відмінності між групами щодо латерального кута відкриття ацетабулярної западини (CTa) та шийково-діафізарного кута стегнової кістки ($p \leq 0,001$), що свідчить про прогресуюче погіршення ацетабулярної геометрії зі зростанням ІМ. Водночас показник сагітальної інклінації (CTb) та параметри проксимального відділу стегнової кістки доповнювали характеристику просторових змін. Отримані дані підтверджують, що тривимірне оцінювання дозволяє об'єктивно відобразити ступінь дисплазії та валідизувати класифікаційні підходи, засновані на ІМ, як індикатори тяжкості патології кульшового суглоба в дітей із ДЦП [15].

У систематичному огляді S. Barik та співавт. узагальнено сучасні підходи до радіологічного оцінювання дисплазії кульшового суглоба в дітей із ДЦП та підтверджено ключову роль ІМ як найбільш відтворюваного та клінічно значущого показника. Аналіз 30 досліджень показав, що рентгенографія залишається основним методом скринінгу, проте додаткові методи візуалізації, зокрема КТ, дозволяють підвищити точність аналізу ацетабулярної морфології, особливо у випадках, коли стандартна передньозадня проєкція є недостатньо інформативною. Встановлено, що альтернативні параметри, включаючи ацетабулярний індекс та інші морфометричні показники, можуть доповнювати ІМ під час виявлення дисплазії, а їх відтворюваність варіює від доброї до відмінної. Таким чином, результати огляду підтверджують доцільність комплексного підходу до діагностики, який поєднує рентгенологічні та тривимірні методи, що особливо важливо для точного визначення ступеня патології та планування лікування [16].

Аналіз включених публікацій дозволив визначити клінічно значущі порогові значення індексу міграції, що відображають стадійність патологічного процесу. Зокрема, значення ІМ ≥ 30 % відповідає початковим структурним змінам западини, тоді як ІМ ≥ 50 % асоціюється з формуванням вираженої дисплазії. За значень понад 80 % відбувається повний вивих кульшового суглоба з втратою контакту між суглобовими поверхнями. Отже, ІМ може розглядатися як ключовий критерій стратифікації тяжкості патології та визначення тактики ведення пацієнтів (таблиця 2).

Узагальнення результатів включених досліджень у вигляді forest-style діаграми демонструє, що збільшення міграційного відсотка асоціюється з прогресуючими змінами морфології кульшового суглоба. У більшості спостережень виявлено позитивний напрямок ефекту, що відображає посилення ацетабулярної дисплазії, зокрема зростання ацетабулярних індексів, латерального відкриття та тривимірних параметрів дефіциту покриття. Водночас окремі показники, такі як антеторсія западини, можуть демонструвати зворотну тенденцію, що підкреслює складність тривимірної перебудови суглоба (рисунок).

Обговорення

Отримані результати систематичного огляду та метааналізу свідчать, що патологія кульшового

РУКОПИС

Таблиця 2

Узагальнення результатів досліджень щодо зв'язку між індексом міграції та морфологією кульшового суглоба за ДЦП

Автор	Досліджуваний параметр	Основний результат	Характер змін
M. Jóźwiak та співавт., [8] 2021	Антеторсія, інклінація, об'єм западини	Виявлено зменшення антеторсії, збільшення інклінації та зменшення об'єму западини зі зростанням ІМ	Різноспрямовані зміни з переважанням диспластичних
S. Gose та співавт., [9] 2009	Латеральний кут відкриття (CTa), CT-MP	Встановлено пряму залежність між CT-MP і латеральним відкриттям западини	Прогресуюче збільшення дисплазії
S. Gose та співавт., [10] 2010	Шийково-діафізарний кут, антеторсія стегна	Виявлено кореляцію між CT-MP і збільшенням шийково-діафізарного кута (*coxa valga*)	Зміни феморального компонента
M. Chung та співавт., [11] 2017	Передньоверхній, верхньолатеральний, задньоверхній індекси	Усі параметри достовірно зростають зі збільшенням ІМ	Багатовекторна ацетабулярна дисплазія
A. Syed та співавт., [12] 2024	Ротація таза, асиметрія	Виявлено асиметричну ротацію таза, що корелює з тяжкістю сколіозу	Системні спінопельвічні зміни
D. Grisch та співавт., [13] 2025	Тривимірний ацетабулярний індекс (3D-AI)	Значення 3D-AI підвищуються у всіх напрямах дефіциту покриття та корелюють з ІМ	Виражена тривимірна дисплазія
N. Wang та співавт., [14] 2023	ІМ, ацетабулярний індекс	Визначено порогові значення ІМ (30, 50, 80 %), що відповідають різним стадіям патології	Стадійне прогресування
S. Gose та співавт., [15] 2011	CTa, ІМ, геометрія западини	Встановлено залежність між ІМ та зміною ацетабулярної орієнтації	Прогресуюча деформація
S. Barik та співавт., [16] 2022	Радіологічні параметри	ІМ підтверджено як найбільш відтворюваний показник	Діагностична значущість
R. Badrinath та співавт., [17] 2021	3D-дефекти покриття	Виявлено значну варіабельність локалізації ацетабулярного дефіциту	Неоднорідна структура дисплазії

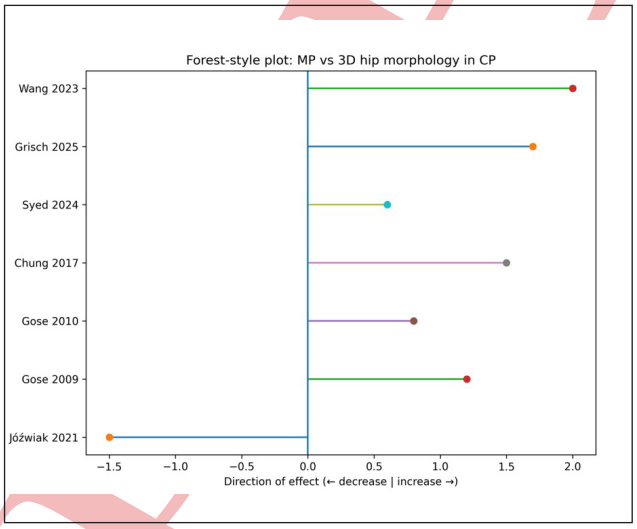


Рисунок. Узагальнений аналіз напряму змін морфології кульшового суглоба залежно від індексу міграції у дітей із ДЦП

суглоба в дітей із ДЦП є складним багатофакторним процесом, який включає не лише латералізацію головки стегнової кістки, а й глибоку тривимірну перебудову западини та проксимального відділу стегнової кістки. Узагальнені дані підтверджують, що ІМ виступає ключовим інтегральним показником, який відображає як ступінь зміщення, так і глибину структурних змін кульшового суглоба.

Одним із основних висновків є те, що ацетабулярна дисплазія за ДЦП має чітко виражений тривимірний характер. На відміну від традиційного уявлення про переважно латеральний дефіцит покриття, результати включених досліджень демонструють багатовекторну деформацію, що охоплює передньоверхні, верхньолатеральні та задньоверхні компоненти. Це підтверджується як мультипланарними КТ-дослідженнями [11], так і аналізом тривимірних індексів [13], які дозволяють не лише

кількісно оцінити дефіцит, але й визначити його напрямок. Таким чином, ацетабулярна дисплазія за ДЦП не є ізольованим порушенням, а являє собою комплексну просторову деформацію.

Сучасні підходи до хірургічної корекції патології кульшового суглоба в дітей із ДЦП дедалі більше орієнтуються на індивідуалізоване тривимірне планування. У дослідженні B. K. Krautwurst і співавт. показано, що ацетабулярні дефекти за ДЦП мають значну індивідуальну варіабельність за локалізацією та напрямом, що обмежує точність традиційного планування на основі двовимірних рентгенограм. Використання 3D-КТ із попереднім моделюванням та застосуванням пацієнт-специфічних направляючих дозволяє досягти більш точної анатомічної корекції ацетабулярного покриття порівняно зі стандартною «freehand» остеотомією. Підвищення точності реконструкції має потенційно важливі клінічні наслідки, зокрема покращення довгострокової конгруентності суглоба, оптимізацію розподілу навантаження, зменшення больового синдрому та підвищення функціональних результатів. Крім того, запропонований тривимірний індекс покриття головки (3D-HCI (hip coverage index)) дозволяє більш детально охарактеризувати ступінь підвивиху та просторові особливості ацетабулярного дефекту, що значно перевищує інформативність стандартних рентгенологічних методів і підкреслює переваги 3D-підходу в сучасному ортопедичному плануванні [18]. Отримані результати узгоджуються зі сучасними концепціями індивідуалізованого 3D-планування хірургічного лікування в дітей із ДЦП. Зокрема, показано, що застосування тривимірного моделювання та 3D-HCI дозволяє досягти більш точної анатомічної корекції ацетабулярного покриття порівняно з традиційними методами остеотомії, виконаними на основі двовимірних рентгенограм. Підвищена точність 3D-планування має важливі клінічні наслідки, зокрема для довгострокової конгруентності кульшового суглоба, рівномірного розподілу навантаження, зменшення больового синдрому та покращення функціональних результатів. Крім того, використання 3D-HCI забезпечує більш детальний і просторово точний опис підвивиху стегна й ацетабулярного покриття, ніж це можливо в разі стандартної рентгенографії, що підкреслює переваги тривимірних методів у плануванні реконструктивних втручань. Це особливо важливо за задньоверхнього дефіциту покриття, характерному для ДЦП, де неправильне оцінювання напряму деформації може призвести до недостатньої корекції.

Важливим аспектом є встановлення ролі ІМ як маркера структурних змін. Дані N. K. Wang та співавт. свідчать, що порогове значення ІМ ≥ 30 % відповідає початку ацетабулярної перебудови, тоді як ІМ ≥ 50 % асоціюється з формуванням виражених дефектів покриття, зокрема задньолатеральних. За значень понад 80 % формується повний вивих із втратою контакту між суглобовими поверхнями. Це підтверджує, що ІМ може використовуватися не лише для скринінгу, а й для стратифікації тяжкості патології та визначення моменту втручання [14].

Окремої уваги заслуговує взаємозв'язок між ацетабулярними та феморальними компонентами патології. Результати S. Gose та співавт. показали, що збільшення ІМ асоціюється з розвитком *coxa valga* (r ≈ 0,49), тоді як зв'язок із феморальною антеторсією є менш вираженим. Це свідчить про те, що саме зміни шийково-діафізарного кута відіграють ключову роль у формуванні нестабільності кульшового суглоба. Таким чином, патологія має комплексний характер і не може розглядатися лише з позиції ацетабулярної дисплазії [11].

Додатково результати S. Gose та співавт. підтверджують, що зі зростанням ІМ відбувається прогресуюче «відкриття» западини та зміна його просторової орієнтації, що супроводжується передньоверхньолатеральним зміщенням головки стегна. Це узгоджується з даними про валідацію класифікаційних систем, заснованих на ІМ, та підтверджує їхню клінічну доцільність [9, 15].

Важливим доповненням до цієї концепції є результати A. N. Syed і співавт., які демонструють, що деформація не обмежується кульшовим суглобом, а включає також аксіальні зміни таза. Виявлена асиметрія ротації півтаза та її кореляція зі ступенем сколіозу (Cobb angle) свідчать про те, що порушення біомеханіки мають системний характер [12]. Це означає, що аналіз кульшового суглоба повинен проводитися в контексті загальної спінопельвічної рівноваги.

Дані D. Grisch та співавт. [13] підкреслюють, що 3D-КТ має суттєві переваги у визначенні напряму ацетабулярного дефіциту, проте традиційні рентгенологічні параметри, зокрема ІМ, залишаються більш придатними для скринінгу та первинної діагностики. Це узгоджується з результатами систематичного огляду S. Barik та співавт. [16], який підтверджує, що ІМ є найбільш відтворюваним показником, тоді як інші параметри мають допоміжне значення.

Цікаво, що навіть дослідження поза популяцією ДЦП демонструють подібні закономірності варіабельності ацетабулярного дефіциту, що підкрес-

РЕЦЕНЗІЯ

лює універсальність тривимірної моделі дисплазії та підтверджує доцільність використання 3D-КТ для детального морфологічного оцінювання [18].

Із клінічної точки зору отримані результати мають важливе значення. Поєднання ІМ як скринінгового показника та 3D-КТ як методу деталізації дозволяє оптимізувати діагностичний алгоритм і підвищити точність передопераційного планування. Зокрема, визначення напряму ацетабулярного дефіциту є критичним для вибору типу остеотомії та досягнення стабільних результатів лікування.

До основних обмежень аналізу слід віднести гетерогенність включених досліджень, зокрема різні методи КТ-вимірювань, варіабельність морфометричних показників та відмінності у вікових групах пацієнтів. Це обмежує можливість проведення повноцінного кількісного метааналізу та зумовлює використання описового підходу до узагальнення результатів.

Висновки

Узагальнення результатів включених досліджень підтвердило, що патологія кульшового суглоба в дітей із ДЦП має складний тривимірний характер і включає як ацетабулярні, так і феморальні компоненти деформації, які взаємопов'язані з рівнем функціональних порушень.

Індекс міграції є ключовим інтегральним показником, який достовірно відображає ступінь зміщення головки стегнової кістки та асоціюється з морфологічними змінами западини, зокрема збільшенням латерального відкриття, формуванням дефіциту покриття та розвитком *coxa valga*. ІМ є надійним і відтворюваним предиктором прогресування патології кульшового суглоба. Достовірні структурні зміни западини починаються вже за ІМ ≥ 30 % ($p < 0,001$) — початкові структурні зміни, ≥ 50 % — вираженій дисплазії та підвивиху, а ≥ 80 % — повний вивих кульшового суглоба, що дозволяє використовувати ІМ як інструмент стратифікації тяжкості патології.

Зростання індексу міграції супроводжується статистично значущими морфологічними змінами. Виявлено помірну позитивну кореляцію між ступенем зміщення головки стегнової кістки та шийково-діафізарним кутом ($r = 0,49$). Водночас зв'язок із феморальною антеторсією виявився слабким ($r = 0,26$). Спостерігається також чіткий спінопельвічний зв'язок: кут зовнішньої ротації клубового крила достовірно вищий у пацієнтів з ДЦП (47,3° ± 18,1° проти 26,4° ± 3,7° у контролі, $p < 0,001$) і корелює з тяжкістю сколіозу ($r = 0,457–0,506$).

Тривимірне оцінювання показало, що ацетабулярна дисплазія за ДЦП має багатовекторний і напрямлено-специфічний характер. У 82 % випадків головка стегнової кістки зміщується латерально, вгору та дозаду, формуючи задньоверхній («каналоподібний») дефект покриття. Об'єм ацетабулярної западини в дітей зі спастичним підвивихом/вивихом зменшується майже вдвічі порівняно з нормою (17,6 проти 31,5 мл).

Отримані дані підтверджують, що традиційна рентгенографія, хоча й залишається основним методом скринінгу, суттєво недооцінює глобальну тривимірну деформацію западини. 3D-КТ дозволяє точно визначити локалізацію, величину та напрямок ацетабулярного дефекту, що має принципове значення для індивідуалізованого передопераційного планування. Застосування 3D-планування та тривимірних індексів (зокрема 3D-AI та 3D-HCI) забезпечує більш точну анатомічну корекцію ацетабулярного покриття порівняно з традиційними методами, що потенційно покращує довгострокову конгруентність суглоба, розподіл навантаження, больовий синдром і функціональні результати.

Таким чином, за ІМ ≥ 30 % доцільно доповнювати рентгенологічне обстеження 3D-КТ із метою точного оцінювання морфології кульшового суглоба та вибору оптимальної реконструктивної тактики. Використання тривимірного планування та спеціалізованих індексів відкриває можливості для більш точної хірургічної корекції, що в перспективі може покращити конгруентність суглоба, функціональні результати та якість життя дітей з дитячим церебральним паралічем. Отже, поєднання ІМ як скринінгового показника та 3D-КТ, як інструмента детального морфологічного оцінювання разом із 3D-плануванням формує сучасний підхід до діагностики та лікування патології кульшового суглоба в дітей із ДЦП.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Доцільним є подальше вивчення тривимірної локалізації ацетабулярного дефекту з визначенням прогностичних 3D-КТ критеріїв прогресування підвивиху та вивиху стегна. Особливу увагу слід приділити оцінці передньоверхнього, верхньолатерального та задньоверхнього компонентів ацетабулярної недостатності, оскільки наявні дані підтверджують багатовекторний характер дисплазії за ДЦП. Важливим напрямом є проведення досліджень, які дозволять простежити динаміку 3D-морфології ацетабулярної западини в процесі росту дитини залежно від віку, рівня GMFCS, скелетної зрілості та прогресування індексу міграції. Окремого вивчення потребує взаємозв'язок ацетабулярних змін із феморальними та спінопельвічними деформаціями, зокрема *coxa valga*, ротацією таза та нейром'язовим сколіозом.

РЕДАКЦІЯ

Інформація про фінансування. Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Філіпчук В. В. — ідея, обґрунтування напряму та мети дослідження; Мельник М. В. — загальне редагування, контроль достовірності, остаточне узгодження; Гуцайлюк В. І. — збір матеріалів дослідження, аналіз матеріалів, формування списку літератури, написання основного тексту дослідження.

Список літератури

1. Kim, S. M., Sim, E. G., Lim, S. G., & Park, E. S. (2012). Reliability of hip migration index in children with cerebral palsy: The classic and modified methods. *Annals of rehabilitation medicine, 36*(1), 33–38. https://doi.org/10.5535/arm.2012.36.1.33
2. Hägglund, G., Alriksson-Schmidt, A., Lauge-Pedersen, H., Rodby-Bousquet, E., Wagner, P., & Westbom, L. (2014). Prevention of dislocation of the hip in children with cerebral palsy: 20-year results of a population-based prevention programme. *The bone & joint journal, 96-B*(11), 1546–1552. https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B11.34385
3. Asma, A., Ulusaloglu, A. C., Shrader, M. W., Miller, F., Rogers, K. J., & Howard, J. J. (2023). Hip displacement after triradiate cartilage closure in nonambulatory cerebral palsy: Who needs continued radiographic surveillance? *The Journal of bone and joint surgery. American Volume, 105*(1), 27–34. https://doi.org/10.2106/JBJS.22.00648
4. Shore, B., Spence, D., & Graham, H. (2012). The role for hip surveillance in children with cerebral palsy. *Current reviews in musculoskeletal medicine, 5*(2), 126–134. https://doi.org/10.1007/s12178-012-9120-4
5. Hermanson, M., Hägglund, G., Riad, J., Rodby-Bousquet, E., & Wagner, P. (2015). Prediction of hip displacement in children with cerebral palsy: Development of the CPUP hip score. *The bone & joint journal, 97-B*(10), 1441–1444. https://doi.org/10.1302/0301-620X.97B10.35978
6. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
7. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS medicine, 6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097
8. Jóźwiak, M., Rychlik, M., Szymczak, W., Grzegorzewski, A., & Musielak, B. (2021). Acetabular shape and orientation of the spastic hip in children with cerebral palsy. *Developmental medicine & child neurology*. https://doi.org/10.1111/dmcn.14793
9. Gose, S., Sakai, T., Shibata, T., Murase, T., Yoshikawa, H., & Sugamoto, K. (2009). Morphometric analysis of acetabular dysplasia in cerebral palsy: A three-dimensional CT study. *Journal of pediatric orthopaedics, 29*(8), 896–902. https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181c0e957
10. Gose, S., Sakai, T., Shibata, T., Murase, T., Yoshikawa, H., & Sugamoto, K. (2010). Morphometric analysis of the femur in cerebral palsy: A three-dimensional CT study. Journal of pediatric orthopaedics, 30(6), 568–574. https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181e4f38d
11. Chung, M. K., Zulkarnain, A., Lee, J. B., Cho, B. C., Chung, C. Y., & Lee, K. M. (2017). Functional status and amount of hip displacement independently affect acetabular dysplasia in cerebral palsy. *Developmental medicine & child neurology, 59*(7):743–749. doi: 10.1111/dmcn.13437.
12. Syed, A. N., Zheng, J. L., Goodbody, C., Cahill, P. J., Spiegel, D. A., & Baldwin, K. (2024). Rotation and asymmetry of the axial plane pelvis in cerebral palsy: A CT-based study. *Children, 11*(1), 63. https://doi.org/10.3390/children11010063
13. Grisch, D., Weber, O., Krautwurst, B. K., Hatt, F. L., Zellner, M., von Deimling, C., et al. (2025). Evaluation of acetabular defects in children with cerebral palsy: A comparative analysis of CT measurements and radiographic parameters. *Children, 12*(9), 1254. https://doi.org/10.3390/children12091254
14. Wang, N. K., Shen, S. H., Chen, B. P. J., Chang, C. H., & Kuo, K. N. (2023). Definition of hip displacement and dislocation by acetabular dysplasia in children with cerebral palsy. *Journal of children's orthopaedics, 17*(4), 315–321. https://doi.org/10.1177/18632521231185294
15. Gose, S., Sakai, T., Shibata, T., Akiyama, K., Yoshikawa, H., & Sugamoto, K. (2011). Verification of the Robin and Graham classification system of hip disease in cerebral palsy using three-dimensional computed tomography. *Developmental medicine & child neurology, 53*(12), 1086–1091. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04130.x
16. Barik, S., Jain, A., Nongdamba, H., Chaudhary, S., Yasam, R. P., & Goyal, T. (2022). Radiological parameters of hip dysplasia in cerebral palsy: A systematic review. *Indian journal of orthopaedics*, 56, 939–951. https://doi.org/10.1007/s43465-022-00610-x
17. Badrinath, R., Jeffords, M. E., Bomar, J. D., Ahmed, S. I., Pennock, A. T., & Upasani, V. V. (2021). 3D characterization of acetabular deficiency in children with developmental dysplasia of the hip. *Indian journal of orthopaedics, 55*(6), 1576–1582. https://doi.org/10.1007/s43465-021-00458-7
18. Krautwurst, B. K., Weber, O., et al. (2026). Individualized 3D planning for hip reconstruction in children with cerebral palsy. *Journal of clinical medicine, 15*(7), 2636. https://doi.org/10.3390/jcm15072636
19. Sharrard, W. J. W., Allen, J. M. H., Heaney, S. H., & Prendiville, G. R. G. (1975). Surgical prophylaxis of subluxation and dislocation of the hip in cerebral palsy. *The journal of bone and joint surgery. British Volume, 57-B*(2), 160–166. https://doi.org/10.1302/0301-620X.57B2.160

Стаття надійшла до редакції	Отримано після рецензування	Прийнято до друку
21.05.2026	27.05.2026	03.06.2026

3D-CT ASSESSMENT OF ACETABULAR MORPHOLOGY IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY: A SYNTHESIS OF EVIDENCE-BASED DATA

V. V. Filipchuk, M. V. Melnyk, V. I. Hutsailiuk

SI «The Institute of Traumatology and Orthopedics by NAMS of Ukraine», Kyiv

✉ Viktor Filipchuk: filipvv@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-9727-9532

✉ Mykhailo Melnyk: mvmelnyk59@gmail.com; https://orcid.org/0009-0003-3283-3859

✉ Viktoriia Hutsailiuk: viktoriavika762@gmail.com; https://orcid.org/0009-0001-6306-6918

PREVIEW