

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ПАТОЛОГІЇ ХРЕБТА**  
**ТА СУГЛОБІВ ІМ. ПРОФ. М. І. СИТЕНКА**  
**НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ»**

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

**ЯКУШКІН ЄВГЕНІЙ ЮРІЙОВИЧ**

УДК 616-089-728.3-026.16-007-053.1:617.58]:092.6

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ЛІКУВАННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ КОЛІННОГО СУГЛОБА**  
**В ДІТЕЙ ЗА ВРОДЖЕНИХ ПОВЗДОВЖНИХ ВАД**  
**РОЗВИТКУ НИЖНИХ КІНЦІВОК**

14.01.21 – травматологія та ортопедія

222 – медицина

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ С. Ю. Якушкін

Науковий керівник: Хмизов Сергій Олександрович, доктор медичних наук, професор

## АНОТАЦІЯ

Якушкін Є. Ю. Лікування нестабільності колінного суглоба в дітей за вроджених повздовжніх вад розвитку нижніх кінцівок – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктор філософії з медицини за спеціальністю 14.01.21 «травматологія та ортопедія» (222 – медицина) – ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України», Харків, 2025.

Дисертація спрямована на підвищення ефективності лікування нестабільності колінного суглоба (НКС) у дітей з вродженими повздовжніми вадами розвитку нижньої кінцівки (ВПВРНК). Основною причиною розвитку НКС у таких випадках є вроджений дефект схрещених зв'язок (LGC), що діагностується у 95-100 % випадків, але часто маскується супутніми вадами розвитку нижньої кінцівки. Затримка у виявленні та корекції патології LGC значно ускладнює багатоетапні хірургічні втручання, спрямовані на корекцію деформації нижньої кінцівки (НК) за ВПВРНК. Це призводить до високої частоти суглобових ускладнень, зокрема: нестабільності колінного суглоба (у 90 % випадків), вивихів у колінному суглобі (у 57,4 % випадків) та інших патологій. [12, 15, 28, 38, 215, 236].

У цьому дослідженні проведено аналіз літературних даних (понад 500 статей у фахових виданнях із міжнародних бібліотек PubMed, NCBI, Google Scholar, Medscape, MedlinePlus). Водночас було визначено та враховано особливості анатомії, фізіології КС та методики лікування дітей з НКС за ВПВРНК. Виявлено низку проблемних питань, таких як, відсутність анкет адаптованих для опитування дітей із патологією КС на державній мові, відсутність даних про параметри вікової норми розмірів міжвиросткової ямки стегнової кістки (МЯСК), що ускладнює діагностику вад закладки LGC на ранньому етапі лікування ВПВРНК. На теперішній час недостатньо інформації

про особливості біомеханіки КС за ВПВРНК та єдиної тактики лікування дітей з цією патологією. Усе це і було закладено в завданнях наукового дослідження.

Метою дослідження є покращення результатів лікування дітей з НКС за ВПВРНК, на основі вдосконалення діагностики НКС у дітей за ВПВРНК, покращення хірургічних методик стабілізації КС і створення програми їхньої реабілітації дітей з НКС за ВПВРНК. Для досягнення основної мети дисертаційного дослідження, а саме підвищення ефективності лікування НКС у дітей із ВПВРНК, згідно з темою роботи сформовано клінічну групу спостереження. До цієї групи увійшли 64 дитини віком від 2 до 18 років обох статей, у яких діагностовано НКС на тлі ВПВРНК та які перебували на обстеженні або лікуванні у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Формування саме цієї групи пацієнтів має безпосереднє значення для подальшого клінічного аналізу отриманих результатів, обґрунтування висновків і практичних рекомендацій дослідження, яке проходило після погодження етичного комітету (протокол №198 від 09.12.2019). Проведені дослідження адаптовані відповідно до міжнародних вимог.

Уперше в Україні було створено україномовний варіант анкети опитувальника Pedi-IKDC для використання в клінічних та дослідницьких цілях у дітей з патологією КС. Переклад та адаптацію узгоджено з правовласником тесту AOSSM (American Orthopaedic Society for Sports Medicine) та проведено згідно з міжнародними вимогами (Recommendations for the Cross-Cultural Adaptation of Health Status Measures від American Academy of Orthopaedic Surgeons Institute for Work & Health). Для підтвердження валідності створеної нами україномовної версії опитувальника Pedi-IKDC проведено двоетапне клінічне дослідження. На першому етапі здійснювали оцінювання відповідності результатів анкетування, отриманих від 50 дітей віком від 10 до 18 років без патології колінного суглоба, результатам дослідження А. У. Nasreddine. У результаті статистичних розрахунків значення t-критерію=0,04, число ступенів свободи  $f=1\ 969$ . Критичне значення t-критерію Стьюдента =1,972, за рівня

значимості  $\alpha=0,05$ . Розбіжності отримані під час тестування оригінальної анкети та її українського перекладу статистично не значущі ( $p=0,966362$ ). На другому етапі вивчали клінічну чутливість опитувальника на вибірці зі 100 дітей віком від 10 до 18 років, які мали патологію колінного суглоба та проходили опитування двічі: до початку лікування та через 5 місяців після нього. У результаті розрахунків значення парного t- критерію = 36,165, число ступенів свободи  $f=99$ . Критичне значення t- критерію Стьюдента за такої кількості ступенів свободи складає 1,987. Розбіжності отримані під час аналізу результатів тестування до та після лікування статистично значущі,  $t_2 > t_{\text{крит}}$  ( $p=0,000$ ). Висока кореляція результатів визначення стану пацієнтів підтверджує адекватність та об'єктивність оцінок, отриманих за допомогою опитувальника Pedi-IKDC.

У дітей віком від 2 до 18 років, як без патології н/кінцівок так і з ВПВРНК проведено комплексне інструментальне дослідження КС. Воно включало рентгенографію (Rg), комп'ютерну томографію (КТ) та магнітно-резонансну томографію (МРТ) для визначення рентгенологічних параметрів норми МЯСК. У межах проспективного обстеження досліджено 358 колінних суглобів у 217 дітей, які перебували під наглядом клініки дитячої ортопедії. Зокрема: рентгенографічно обстежено 90 пацієнтів, що дало змогу проаналізувати 177 рентгенограм КС; за допомогою КТ обстежено 86 осіб, отримано 140 зображень КС; за допомогою МРТ обстежено 41 пацієнт, отримано 41 зображення КС. Одержані параметри МЯСК були узагальнені для дітей різних вікових категорій зі стабільними КС та НКС за ВПВРНК. Результати статистично порівнювалися між різними методами інструментального дослідження за допомогою t-критерію Стьюдента. Встановлено, що статистично значущої різниці між показниками, отриманими різними методами, не виявлено. У цьому дослідженні перше у світі визначено параметри норми МЯСК для дитячого населення, що є важливим внеском у діагностику та лікування патологій КС.

Оскільки метою цих двох досліджень було виключно вдосконалення діагностичного інструментарію, пацієнти, які брали в них участь, не увійшли

до основної клінічної групи спостереження, а їхній стан після завершення досліджень додатково не моніторували.

З метою отримання додаткових знань стосовно біомеханіки КС та його особливостей у НКС за ВПВРНК створено математичну експериментальну модель КС. Це дозволило дослідити напружено-деформований стан елементів КС у дітей як у нормі, так і за наявності НКС, а також виявити зміни після проведення позасуглобової хірургічної стабілізації колінного суглоба (ПСКС). Отримана інформація про розподіл напружень у моделях із НКС надала змогу порівняти ці показники залежно від наявності патологічних змін та їхнього хірургічного усунення. Експериментально доведено ефективність ПСКС. Крім того, знайдено новий спосіб проведення та кріплення аутозв'язок, який покращує біомеханічний результат стабілізації та в подальшому впроваджений у практику. Дослідження демонструє, що аплазія LCG спричиняє значне підвищення напружень і відносних деформацій у структурних елементах КС, що негативно впливає на його стабільність. Відновлення зв'язково-капсульного апарата колінного суглоба (ЗКА КС) за методикою SUPER knee за D. Paley (одна з найефективніших методик ПСКС) дозволяє знизити рівень напружень у стегновій та великогомілковій кістках до показників, наближених до нормальних. При цьому сформовані зв'язки, беруть на себе основне навантаження, демонструючи високий рівень напружень через підвищену жорсткість матеріалу. Запропонована модифікація методики SUPER knee передбачає 8-подібне проведення зв'язкового матеріалу з медіального боку суглоба та забезпечує більш рівномірний розподіл навантажень і значне зниження напружень у задній частині стегнової кістки. Ця зміна покращує бокову стабільність КС, водночас залишаючи незмінними величини відносних деформацій. Розроблені експериментальні моделі КС стали основою для вдосконалення хірургічних підходів, підтверджених клінічними дослідженнями, та сприяють підвищенню ефективності лікування дітей із НКС за ВПВРНК.

Із метою розроблення покращення методик ПСКС проаналізовано 19 оперативних втручань за методикою SUPER knee за D. Paley, виконаних у клініці дитячої ортопедії ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у період 2008-2019 роки. Під час їхнього виконання виявлено низку складнощів, характерних для цього підходу. Серед отриманих результатів: середня тривалість операції становила 3 години 15 хвилин, а стаціонарного лікування після операції – 23 днів, частота шкірних ускладнень склала 16 %, а медіальна нестабільність колінного суглоба була виявлена в 52,7 % пацієнтів. Термін початку пасивних рухів у суглобі складав у середньому 32 доби. Літературні джерела підтверджують високу частоту шкірних ускладнень (до 30 %) та значну тривалість оперативного втручання (3 год 35 хв). Для підвищення ефективності лікування було розроблено та впроваджено низку вдосконалень методики SUPER knee. Зміни включали модифікацію хірургічного доступу, яка зменшила обсяг травмування м'яких тканин через використання трьох окремих розтинів замість одного масивного. Це зменшило площу ушкоджень, крововтрату та сприяло кращому загоєнню тканин. Внесено змінені в спосіб прошивання аутозв'язок, що дозволило надати їм овальної форми, підвищивши міцність і зменшивши час їхнього формування. Також модифікація методу проведення аутозв'язок, визначена на основі біомеханічного моделювання, значно покращила стабільність колінного суглоба. Удосконалену методику застосовано в 26 дітей після отримання згоди їхніх представників. Результати клінічного огляду через 5 місяців після операцій показали значне покращення: тривалість операцій зменшилася до 2 год 20 хв (на 31,7 % менше, ніж за літературними даними), частота шкірних ускладнень знизилася до 0 %, медіальна нестабільність була відсутня у 100 % пацієнтів, а тривалість стаціонарного лікування скоротилася з 23 до 16 днів (на 30,4 %). Крім того, термін початку пасивних рухів у колінному суглобі скоротився до 11 днів. Отримані результати свідчать про те, що впроваджені вдосконалень не лише підвищили ефективність лікування, але й забезпечили

кращу стабільність колінного суглоба, знизили травматичність операцій і значно пришвидшили післяопераційну реабілітацію.

Уперше в Україні розроблено програму реабілітаційного лікування для дітей з НКС за ВПВРНК зокрема після оперативної позасуглобової стабілізації колінного суглоба (ПСКС). Створена програма, заснована на аналізі міжнародних методик реабілітації (AOSSM, SICOT, OARSI, AWMF), застосована до 19 дітей, яким виконали ПСКС у період з 2008 по 2019 роки. Для оцінювання ефективності програми проведено тестування за шкалою Pedi-IKDC до та після реабілітації, яке показало покращення середнього бала тесту на 11,8 %, що свідчить про позитивний вплив на самопочуття пацієнтів. У подальшому ці рекомендації були використані під час лікування 26 пацієнтів за удосконаленою методикою ПСКС. Тестування за Pedi-IKDC та електронейроміографія (ЕНМГ) м'язів НК, зокрема чотириголового м'яза стегна, показали значні покращення. За показниками ЕНМГ максимальна амплітуда збільшилася на 19,9 %, середня амплітуда — на 21,7 %, сумарна амплітуда — на 33,1 %, що перевищило параметри здорової кінцівки на 5,5 %. Середня частота м'язових скорочень збільшилася на 33,3 % та перевищила показники здорової кінцівки на 6,4 %. Аналогічно, за результатами тестування Pedi-IKDC середній бал збільшився на 47,4 %, що свідчить про значну ефективність розробленої програми реабілітації. Вона включає комплекс вправ, спрямованих на розвиток нервово-м'язового контролю та динамічної стабільності суглобів, що допомагає дітям відновити функції кінцівок після травм і хірургічних втручань. Ураховано рекомендації міжнародних асоціацій і специфіку роботи з дітьми раннього віку, зокрема ізольоване виконання вправ для кожної кінцівки через різну довжину кінцівок. Окрім цього, програму було адаптовано для використання в клінічній практиці на основі результатів апробації та корекцій, внесених після перших результатів тестувань.

Під час виконання роботи нами було розроблено комплексну методіку лікування нестабільності колінного суглоба (НКС) у дітей з вродженими патологіями розвитку нижніх кінцівок (ВПВРНК), яка включає етапи

обстеження, вибору тактики лікування, планування оперативного втручання та післяопераційної реабілітації. Дослідження охоплює період 2008–2024 р.р. і складається з двох етапів. Перший етап передбачає аналіз ефективності реконструктивних втручань і консервативного лікування у 64 дітей (групи А та Б). Другий етап порівнює результати класичної процедури SUPER knee (підгрупа А1) та модифікованого підходу з додатковою реабілітацією (підгрупа А2). Проспективно-клінічне дослідження підтвердило, що модифікована методика, застосована в підгрупі А2, забезпечила найкращі клінічні результати. Показники за шкалою Pedi-IKDC після лікування значно перевищували результати у групах з консервативним лікуванням та класичною процедурою SUPER knee ( $t=24,89$ ;  $p=0,00000$ ). Аналіз статистичних даних виявив суттєві покращення функціонального стану колінного суглоба після оперативного втручання ( $t=53,379$ ;  $p=0,000$ ). У той самий час спостерігалось поступове погіршення стану НКС у пацієнтів без лікування або з консервативною тактикою зі збільшенням фізичної активності ( $t=10,22$ ;  $p=0,00000$ ). Використання оновленої методики дозволило скоротити середню тривалість операцій на 31,7 % і виключити випадки шкірних ускладнень. Результати ЕНМГ дослідження свідчать про покращення параметрів м'язової активності, а впровадження адаптованої реабілітаційної програми сприяло підвищенню показників функціонування кінцівки на 47,4 % за шкалою Pedi-IKDC.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності лікування НКС у дітей із ВПВРНК. Проведені дослідження спрямовані на вдосконалення діагностики, оперативного лікування та реабілітації пацієнтів з цією патологією.

1. Діагностика. Створено та валідовано україномовний варіант тесту Pedi-IKDC, який став надійним інструментом для оцінки стану колінного суглоба у дітей.

Визначено параметри норми МЯСК для різних вікових груп, що дозволило на ранніх етапах діагностувати вади закладки схрещених зв'язок. Доведено, що рентгенографія у проєкції тонелю є доцільною для рутинної

діагностики вад закладки схрещених зв'язок, які призводять до НКС за ВПВРНК, а використання КТ, МРТ та УЗД виявлено недоцільним для стандартної діагностики в дітей.

2. Математичне моделювання. Створено моделі нормального та патологічного стану КС, а також моделі після стабілізації за методикою SUPER knee. На основі аналізу навантаження та стабільності КС розроблено вдосконалення до хірургічної методики ПСКС, які підвищили її ефективність.

3. Оперативне лікування. Модифіковано спосіб ПСКС за рахунок змін до оперативного доступу, способу забору, прошивання та фіксації аутозв'язок. Усе це дозволило зменшити тривалість операції на 28,2 %, кількість післяопераційних ускладнень з 16 до 0 % та скоротити тривалість стаціонарного лікування на 30,4 %.

4. Реабілітація. Розроблено спеціальну програму реабілітації, яка значно покращила функціональні показники суглоба. Підтверджено зростання середнього бала Pedi-IKDC на 47,4 %, а результати ЕНМГ свідчать про покращення нервово-м'язового контролю та динамічної стабільності кінцівки. На основі проведених досліджень сформовано поетапну методику лікування НКС за ВПВРНК, що включає обстеження, вибір тактики лікування, планування оперативного втручання та реабілітаційне лікування. Ефективність впроваджених змін підтверджено клінічними дослідженнями, що демонструють їхню високу результативність і практичну цінність для підвищення якості життя пацієнтів із НКС за ВПВРНК.

Матеріали роботи демонструють ефективність багатокомпонентного підходу до лікування НКС у дітей із ВПВРНК та підкреслюють значення міждисциплінарного підходу для досягнення довготривалих позитивних результатів.

## ABSTRACT

Yakushkin Ye. Yu. Treatment of knee joint instability in children with congenital longitudinal malformations of the lower extremities - Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in medicine, specialty 14.01.21 «traumatology and orthopedics» (222 – Medicine) – State Institution Professor Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine – Kharkiv, 2025.

The dissertation is aimed at improving the effectiveness of treatment of knee joint instability (KJI) in children with congenital longitudinal malformations of the lower limb (CLMLL). The main cause of KJI in such cases is a birth defect of the crossed ligaments (LGC), which is diagnosed in 95-100 % of cases, but is often masked by concomitant malformations of the lower limb. The delay in detecting and correcting LGC pathology significantly complicates multi-stage surgical procedures aimed at correcting lower limb deformity (LLD) in CLMLL. This leads to a high frequency of joint complications, in particular: instability of the knee joint (in 90 % of cases), dislocations in the knee joint (in 57.4 % of cases) and other pathologies.

This study analyzes literature data (more than 500 articles in professional publications from the international libraries PubMed, NCBI, Google Scholar, Medscape, MedlinePlus). At the same time, the features of the anatomy and pathology of the KJ, as well as the treatment techniques for children with KJI in CLMLL, were determined and taken into account. A number of problematic issues were identified, such as the lack of questionnaires adapted for surveying children with KJ pathology in the state language, the lack of data on the parameters of the age-related norm of the size of the intercondylar fossa of the femur (ICF), which complicates the diagnosis of LGC laying defects at the early stage of CLMLL treatment. Currently, there are insufficient data on the features of KJ biomechanics in CLMLL and unified treatment tactics for children with this pathology. All this was laid down in the tasks of this scientific study.

The aim of the study is to improve the results of children with KJI in CLMLL treatment on the basis of improving the diagnosis of KJI in children with CLMLL, improving surgical techniques for stabilizing KJ, and creating a rehabilitation program for children with KJI in CLMLL. Clinical and experimental prospective clinical study with a retrospective comparison group (Evidence Level III) was conducted. The study involved 246 children aged 2 to 18 years, who were examined and treated in the Department of Pediatric Orthopedics of the «Professor Sitenko Institute of M. I. Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» Among the study participants: 134 children without KJ pathology and 112 with CLMLL of which 64 had KJI. The study was conducted after approval by the ethics committee (Protocol No 17 dated 26.11.2019). The conducted research is adapted in accordance with international requirements.

As a result, for the first time in Ukraine, the Ukrainian-language version of the Pedi-IKDC questionnaire was adapted for use for clinical and research purposes in children with KJ pathology. Translation and adaptation were agreed with the copyright holder of the AOSSM test (American Orthopedic Society for Sports Medicine) and carried out in accordance with international requirements (Recommendations for the Cross-Cultural Adaptation of Health Status Measures from the American Academy of Orthopedic Surgeons Institute for Work & Health). The Pedi-IKDC test was validated through a clinical trial involving 150 children aged 10 to 18 years, including 50 without knee pathology and 100 children with knee pathology who completed questionnaires twice (before treatment and 5 months after treatment). At the same time, 250 questionnaires were received and analyzed. The results of a survey of 50 healthy children were statistically compared with data published by Nasreddine A.Y., and obtained the following calculation results for the value of the t-criterion = 0.04, the number of degrees of freedom  $f=1\ 969$ . The critical value of the Student's t-test is 1.972, with a significance level of  $\alpha=0.05$ . The discrepancies obtained during testing of the original questionnaire and its Ukrainian translation are statistically insignificant ( $p=0.966362$ ). The results of 100 patients with knee pathology before and 5 months after treatment were compared to study the

sensitivity of the test. As a result of the calculations, the value of the paired t-test is 36.165, the number of degrees of freedom is  $f=99$ . The critical value of the Student's t-test for a given number of degrees of freedom is 1.987. The discrepancies obtained in the analysis of test results before and after treatment are statistically significant,  $t_2 > t_{crit}$  ( $p=0.000$ ). The high correlation of patient status results confirms the adequacy and objectivity of the estimates obtained using the Pedi-IKDC questionnaire.

A comprehensive instrumental examination of the KJ was performed in children aged 2 to 18 years, both without limb pathology and with CLMLL. The study included radiography (Rg), computed tomography (CT), and magnetic resonance imaging (MRI) to determine the radiological parameters of the ICF norm. As part of a prospective study, 358 knee joints were examined in 217 children who were under the supervision of a pediatric orthopedics clinic. In particular: 90 patients were examined by radiography, which allowed to analyze 177 x-ray images of KJ; 86 patients were examined by CT, receiving 140 images of KJ; 41 patients were examined by MRI, receiving 41 images of KJ. The obtained ICF parameters were generalized for children of different age categories with stable KJ and KJI in CLMLL. The results were statistically compared between different instrumental research methods using the Student's t-test. It was found that there was no statistically significant difference between the indicators obtained by different techniques. The present study is the first in the world to determine the normal ICF parameters for paediatric population, which is an important contribution to diagnosis and treatment of KJ pathologies.

In order to gain additional knowledge about the biomechanics of KJ and its features in KJI in CLMLL, a mathematical experimental model of KJ was created. This made it possible to study the stress-strain state of KJ elements in children both in normal and in the presence of KJI, as well as to assess changes after extra-articular knee joint surgical stabilization (KJSS). The obtained data on the stress distribution in models with KJI made it possible to compare these indicators depending on the presence of pathological changes and their surgical elimination. The effectiveness of KJSI has been experimentally proven. In addition, a new method of conducting and

fixing auto-communication was found, which improves the biomechanical result of stabilization and is further implemented in practice. The study demonstrates that LCG aplasia causes a significant increase in stresses and relative deformations in KJ structural elements, which negatively affects KJ stability. Restoration of the knee joint ligamentous capsular apparatus (KJLCA) using the SUPER knee technique by D. Paley (one of the most effective techniques of KJSI) makes it possible to reduce the level of stress in the femur and tibia to indicators close to normal. At the same time, the formed bonds take on the main load, demonstrating a high level of stresses due to the increased rigidity of the material. The proposed modification of the SUPER knee technique, which involves figure-of-eight conduction of ligamentous material from the medial side of the joint, provides a more even distribution of loads and a significant reduction in stresses in the posterior part of the femur. This change improves the lateral stability of the KJ, while leaving the relative strain values unchanged. The experimental model of KJ have become the basis for improving surgical approaches, confirmed by clinical studies, and contribute to improving the effectiveness of children with KJI in CLMLL treatment.

In order to develop and improve CLMLL techniques, 19 surgical interventions we analyzed using the SUPER knee (D Paley) technique., performed in Pediatric Orthopedics Clinic of State Institution "Professor Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine" in the period 2008-2019, revealed a number of difficulties characteristic of this approach. Among the results obtained: the average duration of surgery was 3 hours and 15 minutes, the duration of inpatient treatment after surgery was 23 days, the frequency of skin complications was 16 %, and medial instability of the knee joint was detected in 52.7 % of patients. The average time to start passive movements in the joint was 32 days. Data from literature sources confirmed a high incidence of skin complications (up to 30 %) and a significant duration of surgical intervention (3 hours and 35 minutes). To improve the effectiveness of treatment, a number of improvements to the SUPER knee technique have been developed and implemented. The changes included a modification of the surgical approach that reduced the amount of soft tissue

damage by using three separate incisions instead of one large one. This reduced the area of damage, blood loss, and promoted better tissue healing. The method of stitching auto-connections was changed, which made it possible to give them an oval shape, increasing their strength and reducing their formation time. In addition, the modification of the method of performing auto-communication, determined on the basis of biomechanical modeling, significantly improved the stability of the knee joint. The improved technique was applied to 26 children after obtaining the consent of their representatives. The results of the clinical examination five months after surgery showed a significant improvement: the operation duration decreased to 2 hours and 20 minutes (31.7 % less than in the literature), the frequency of skin complications decreased to 0 %, medial instability was absent in 100 % of patients, and the duration of inpatient treatment was reduced from 23 to 16 days (30.4 %). In addition, the period for the onset of passive movements in the knee joint was reduced to 11 days. The results show that the implemented improvements not only increased the effectiveness of treatment, but also provided better stability of the knee joint, reduced the trauma of operations and significantly accelerated postoperative rehabilitation of patients.

For the first time in Ukraine, a rehabilitation treatment program has been developed for children with KJI with CLMLL, in particular after surgical knee joint extra-articular stabilization (KJEAS). The created program, based on the analysis of international rehabilitation techniques (AOSSM, SICOT, OARSI, AWMF), was applied to 19 children who underwent KJEAS between 2008 and 2019. To assess the effectiveness of the program, Pedi-IKDC testing was performed before and after rehabilitation, which showed an improvement in the average test score by 11.8 %, which indicates a positive effect on patients' well-being. Subsequently, these recommendations were used in the treatment of 26 patients with improved KJEAS technique. Pedi-IKDC testing and electroneuromyography (ENMG) of the KJ muscles, in particular the quadriceps femoris, showed significant improvements. According to ENMG data, the maximum amplitude increased by 19.9 %, the average amplitude — by 21.7 %, and the total amplitude — by 33.1 %, which exceeded the

parameters of a healthy limb by 5.5 %. The average frequency of muscle contractions increased by 33.3 % and exceeded the indicators of a healthy limb by 6.4 %. Similarly, according to the results of the Pedi-IKDC test, the average score increased by 47.4 %, which indicates a significant effectiveness of the developed rehabilitation program. The program includes a set of exercises aimed at developing neuromuscular control and dynamic joint stability, which helps children restore limb functions after injuries and surgical interventions. The recommendations of international associations and the specifics of working with young children are taken into account, in particular, the isolated performance of exercises for each limb due to different limb lengths. In addition, the program was adapted for use in clinical practice based on the results of testing and corrections made after the first test results.

During our work, we developed a comprehensive technique of knee joint instability (KJI) treatment in children with congenital longitudinal malformations of the lower limb (CLMLL), which includes the stages of examination, selection of treatment tactics, planning of surgical intervention and postoperative rehabilitation. The study covers the period 2008-2024 and consists of two stages. The first stage involves analyzing the effectiveness of reconstructive interventions and conservative treatment in 64 children (Groups A and B). The second stage compares the results of the classic SUPER knee procedure (subgroup A1) and the modified approach with additional rehabilitation (subgroup A2). A prospective clinical study confirmed that the modified technique used in subgroup A2 provided the best clinical results. Indicators on the Pedi-IKDC scale after treatment significantly exceeded the results in the groups with conservative treatment and the classic SUPER knee procedure ( $t = 24.89$ ;  $p = 0.00000$ ). Analysis of statistical data revealed significant improvements in the functional state of the knee joint after surgery ( $t = 53,379$ ;  $p = 0,000$ ). At the same time, there was a gradual deterioration of KJI in patients without treatment or with conservative tactics with increase in physical activity ( $t=10.22$ ;  $p=0.00000$ ). The use of the updated technique made it possible to reduce the average duration of operations by 31.7 % and eliminate cases of skin complications. The results of the ENMG study indicate an improvement in muscle activity parameters, and the introduction of an

adapted rehabilitation program contributed to increase in limb functioning indicators by 47.4 % on the Pedi-IKDC scale.

In the dissertation work, the actual scientific and practical task of improving the effectiveness of KJI treatment in children with CLMLL was solved. The conducted research is aimed at improving the diagnosis, surgical treatment and rehabilitation of patients with this pathology.

1. Diagnostics. Ukrainian-language version of the Pedi-IKDC test has been developed and validated, which has become a reliable tool for assessing the condition of the knee joint in children.

The parameters of the ICF norm for different age groups were determined, which made it possible to diagnose defects in the laying of crossed ligaments at an early stage. It was proved that tunnel projection radiography is appropriate for the routine diagnosis of crossed ligamentous ligament defects leading to KJI in CLMLL, and the use of CT, MRI and ultrasound was found to be inappropriate for standard diagnosis in children.

2. Mathematical modeling. Models of the normal and pathological state of KJ, as well as models after stabilization using the SUPER knee technique, were created. Based on the analysis of KJ load and stability, improvements to KJEAS surgical technique, which increased its effectiveness, were developed. 3. Surgical treatment: The technique of KJSS was modified due to changes in the surgical access, method of sampling, stitching and fixation of the autoligaments. These changes made it possible to reduce the duration of surgery by 28.2 %, the number of postoperative complications from 16 % to 0 %, and reduce the duration of inpatient treatment by 30.4 %.

4. Rehabilitation. Special rehabilitation program has been developed that has significantly improved the functional performance of the joint. Increase in the average Pedi-IKDC score of 47.4 % was confirmed, and the results of ENMG indicate an improvement in neuromuscular control and dynamic stability of the limb. Based on the conducted studies, a step-by-step technique of KJI in CLMLL treatment was formed, including examination, choice of treatment tactics, planning of surgical

intervention and rehabilitation treatment. The effectiveness of the implemented changes is confirmed by clinical studies demonstrating their high effectiveness and practical value for improving the quality of life of patients with KJI in CLMLL.

The materials demonstrate the effectiveness of a multicomponent approach to KJI treatment in children with CLMLL and emphasize the importance of interdisciplinary approach for achieving long-term positive results.

**Ключові слова:** схрещені зв'язки, аплазія, уроджені вади розвитку, нестабільність колінного суглоба, хірургічне лікування колінного суглобу, колінний суглоб, уроджені вади нижньої кінцівки, knee joint instability, congenital malformations, lower extremities, congenital defects of the lower limb, instability of the knee, joint knee, cruciate ligaments.

#### **Список публікацій здобувача**

1. Khmyzov, S., Yakushkin, Y., & Katsalap, Y. (2021). Knee joint instability in conditions of congenital malformations of the lower extremities. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 80-85. <https://doi.org/10.15674/0030-59872021180-85>.

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено пошук літературних даних, обробку результатів, інтерпретацію й аналіз отриманих даних, написано та оформлено статтю до друку).*

2. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky M., & Yaresko O. (2022). Study of relative deformations of the ligamentous apparatus of the knee joint in case of aplasia of the cruciate ligaments and after their restoration (mathematical modeling). *Trauma*, 23(5), 12–18. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.5.23.2022.911>.

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено інтерпретацію та аналіз отриманих даних, написано й оформлено статтю до друку).*

3. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky, M., & Yaresko, O. (2022). Mathematical modeling of the stress-strain state of the knee joint model with aplasia of the cruciate ligaments and after restoration of the ligamentous apparatus.

*Paediatric Surgery (Ukraine)*, № 4(77), 75-83. doi <https://doi.org/10.15574/PS.2022.77.75>.

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено інтерпретацію та аналіз отриманих даних, написано й оформлено статтю до друку)*

4. Yakushkin, Y., Katsalap, Y., & Khmyzov, S. (2023). Validation of Pedi-  
IKDC scale and intercultural adaptation to Ukrainian language. *Orthopaedics,  
traumatology and prosthetics*, (3-4), 97-101. [https://doi.org/10.15674/0030-  
598720223-497-101](https://doi.org/10.15674/0030-598720223-497-101).

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено обстеження хворих, створено електронну базу даних, проведено статистичну обробку отриманих результатів, інтерпретацію та аналіз отриманих даних, написано та оформлено статтю до друку).*

5. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Zlatnik, R. (2024). Parameters of the  
intercondylar fossa of the femur in children in normal conditions and with congenital  
malformations of the lower limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2,  
61–68. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024261-68>.

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено обстеження хворих, створено електронну базу даних, здійснено статистичну обробку отриманих результатів, інтерпретацію та аналіз даних, написано та оформлено статтю до друку).*

6. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee  
joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics, Traumatology and  
Prosthetics*, 4, 41–47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

*(Здобувачем розроблено дизайн дослідження, проведено обстеження хворих, створено електронну базу даних, проведено статистичну обробку отриманих результатів, інтерпретацію та аналіз даних, написано й оформлено статтю до друку).*

## **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

1. Нестабільність колінного суглоба у дітей з аномаліями розвитку нижніх кінцівок. ускладнення хірургічного лікування чи окрема патологія? / Є.Ю. Якушкін, С.О. Хмизов, Є.С. Кацалап, А.В. Пашенко // Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування : матеріали IV науково-практичної конференції, 3 – 5 вересня 2020 р., Запоріжжя, / ЗДМУ, ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». – Запоріжжя. – 2020.

2. Світові тенденції у лікуванні нестабільності колінного суглоба у дітей з поздовжніми вадами розвитку нижніх кінцівок. //Якушкін Є.Ю., Хмизов С.О., Кацалап Є.С. //(2021) Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування: матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції, 2-4 вересня 2021 р., Запоріжжя ; Приморськ. – С. 94.

3. Аналіз ефективності методики SUPER knee за D. Paley та модифікацій до неї при нестабільності колінного суглоба при вроджених поздовжніх вадах розвитку нижніх кінцівок / Є.Ю. Якушкін, С.О. Хмизов //Актуальні проблеми ортопедії та травматології : ювілейний збірник наукових праць. [Інтернет]. Харків. – 2024. – 131-137. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.

4.Аналіз напружено-деформованого стану зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок / Є.Ю. Якушкін, С.О. Хмизов, М.Ю. Карпінський, О.В. Яресько //Актуальні проблеми ортопедії та травматології : ювілейний збірник наукових праць. [Інтернет]. Харків. – 2024. – С. 118-130. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	23
<b>ВСТУП.....</b>	<b>24</b>
<b>РОЗДІЛ 1. НЕСТАБІЛЬНІСТЬ КОЛІННОГО СУГЛОБА ЗА ВРОДЖЕНИХ ВАД РОЗВИТКУ НИЖНІХ КІНЦІВОК (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ) .....</b>	<b>31</b>
<b>1.1. НКС за ВПВРНК – загальні поняття.....</b>	<b>32</b>
1.1.1. Етіологія, онтогенез вродженої НКС.....	34
1.1.2. Нормальна анатомія схрещених зв'язок та їх функція.....	38
1.1.3. Біомеханіка колінного суглоба.....	39
1.1.4. Патогенез розвитку НКС за ВПВРНК і дестабілізації компенсаторних механізмів.....	41
<b>1.2. Методики діагностики НКС.....</b>	<b>46</b>
<b>1.3. Лікування НКС за ВПВРНК.....</b>	<b>49</b>
<b>1.4. Історичні аспекти розвитку позасуглобової реконструкції LGS.....</b>	<b>50</b>
<b>1.5. Хірургічна стабілізація КС за методикою SUPER knee D.Paley.....</b>	<b>54</b>
Резюме до розділу 1.....	59
<b>РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>62</b>
<b>2.1. Загальна характеристика клінічного матеріалу.....</b>	<b>62</b>
<b>2.2. Розробка та валідація україномовного опитувальника Pedi-ІKDC.....</b>	<b>63</b>
<b>2.3. Вивчення показників норми рентгенологічних параметрів міжвиросткової ямки стегнової кістки в дітей різних вікових категорій.....</b>	<b>66</b>
<b>2.4. Вивчення деформацій зв'язкового апарата КС за допомогою експериментального математичного моделювання напружено-</b>	

деформованого стану моделі КС у разі аплазії LGS та після відновлення зв'язкового апарата.....	73
<b>2.5. Ретроспективний аналіз наявного клінічного матеріалу для виявлення слабких сторін і недоліків відомих методик ПСКС.....</b>	<b>79</b>
<b>2.6. Клінічна оцінка ефективності розроблених покращень до лікування НКС за ВПВРНК.....</b>	<b>80</b>
Резюме до розділу 2.....	83
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ ТА ВАЛІДАЦІЇ УКРАЇНОМОВНОГО ОПИТУВАЛЬНИКА PEDI-ICKDC.....</b>	<b>85</b>
Резюме до розділу 3.....	87
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НОРМИ РЕНТГЕНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІЖВИРОСТКОВОЇ ЯМКИ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ В ДІТЕЙ РІЗНИХ ВІКОВИХ КАТЕГОРІЙ.....</b>	<b>88</b>
Резюме до розділу 4.....	103
<b>РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....</b>	<b>104</b>
<b>5.1. Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану моделі колінного суглоба в разі аплазії схрещених зв'язок і після відновлення зв'язкового апарата.....</b>	<b>104</b>
<b>5.2. Аналіз результатів моделювання відносних деформацій зв'язкового апарату моделей колінного суглоба при аплазії схрещених зв'язок та після їх відновлення.....</b>	<b>117</b>
<b>5.3. Аналіз результатів математичного моделювання напружено-деформованого стану зв'язкового апарата КС у разі внесених змін до проведення аутозв'язок за модифікованою методикою.....</b>	<b>122</b>
Резюме до розділу 5.....	132
<b>РОЗДІЛ 6. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ НКС ЗА ВПВРНК.....</b>	<b>135</b>
<b>6.1. Аналіз даних ретроспективного дослідження.....</b>	<b>135</b>

<b>6.2. Модифікація проведення хірургічного доступу та виділення FL.....</b>	<b>137</b>
<b>6.3. Модифікація техніки формування аутозв'язок.....</b>	<b>138</b>
<b>6.4. Удосконалення до методики проведення аутозв'язок.....</b>	<b>141</b>
<b>Резюме до розділу 6.....</b>	<b>141</b>
<b>РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ДІТЕЙ З НКС ЗА ВПВРНК ДО ТА ПІСЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ.....</b>	<b>145</b>
<b>Резюме до розділу 7.....</b>	<b>147</b>
<b>РОЗДІЛ 8. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛІНІЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ ПІДХОДІВ ДО ЛІКУВАННЯ НКС ЗА ВПВРНК.....</b>	<b>148</b>
<b>8.1. Клінічні тести.....</b>	<b>148</b>
<b>8.2. Рентгенологічне обстеження.....</b>	<b>150</b>
<b>8.3. Анкетування Pedi-IKDC.....</b>	<b>152</b>
<b>8.4. Електроміографія.....</b>	<b>153</b>
<b>8.5. Клінічні приклади.....</b>	<b>154</b>
<b>Резюме до розділу 8.....</b>	<b>161</b>
<b>УЗАГАЛЬНЕННЯ ДО ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХНІ ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ.....</b>	<b>164</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>170</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>174</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>207</b>
<b>Додаток А. Адаптація та валідація опитувальника Pedi-IKDC.....</b>	<b>208</b>
<b>Додаток Б. Параметри норми МЯСК.....</b>	<b>218</b>
<b>Додаток В. Програма реабілітації.....</b>	<b>219</b>
<b>Додаток Г. Схема НКС за ВПВРНК .....</b>	<b>223</b>
<b>Додаток Д. Методика лікування НКС за ВПВРНК .....</b>	<b>225</b>
<b>Додаток Е. Акти впровадження.....</b>	<b>230</b>
<b>Додаток Ж. Список пацієнтів.....</b>	<b>235</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

- ВПВРНК** – вроджена повздожня вада розвитку нижньої кінцівки
- ЕНМГ** – електронейроміографія
- ЗКА** – зв’язково-капсульний апарат
- КС** – колінний суглоб
- КТ** – комп’ютерна томографія
- МРТ** – магнітно-резонансна томографія
- МЯСК** – міжвиросткова ямка стегнової кістки
- НК** – нижня кінцівка
- НКС** – нестабільність колінного суглоба
- ПСКС** – позасуглобова стабілізація колінного суглоба
- УЗД** – ультразвукова діагностика
- ACL** – передня схрещена зв’язка
- CFD** – вроджений дефіцит стегна
- FN** – вроджене недорозвинення маломілкової кістки (фібулярна гемімелія)
- FL** – широка фасція стегна
- LCL** – латеральна бічна зв’язка колінного суглоба
- LGS** – схрещені зв’язки
- MCL** – медіальна бічна зв’язка колінного суглоба
- PCL** – задня схрещена зв’язка
- Rg** – рентгенографія
- SUPER knee** – (SUPER аббревіатура від Systematic Utilitarian Procedure for Extremity Reconstruction) – оперативна методика позасуглобової стабілізації колінного суглоба розроблена D. Paley

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Нестабільність колінного суглоба (НКС), яка виникає в разі вроджених повздожних вад розвитку нижньої кінцівки (ВПВРНК), належить до рідкісних патологічних станів і є наслідком порушень закладки та формування анатомічних структур нижньої кінцівки таких як схрещені зв'язки (LGC) [9, 112]. Вибір методики лікування НКС у пацієнтів із ВПВРНК ускладнюється тим, що вроджений дефект LGC не проявляється на початкових етапах лікування і таким чином провокує небажані наслідки за умов хірургічної корекції ВПВРНК. Серед можливих ускладнень фіксують розвиток НКС, вивих у КС, контрактури в КС або виникнення осьових деформацій НК [12, 15, 28, 38, 215, 236].

Ігнорування НКС під час планування лікування та корекції деформацій нижньої кінцівки (НК) зумовлює погіршення клінічних результатів та якості життя пацієнта. Зокрема, нездатність кінцівки витримувати навантаження, больовий синдром, прискорений розвиток дегенеративних змін і зменшення рівня фізичної активності порівняно з ровесниками можуть викликати значний психологічний дискомфорт у дитячому віці та в подальшому житті [153].

Наразі тривають дискусії щодо послідовності оперативних заходів у разі ВПВРНК і важливості супутнього відновлення зв'язок КС. Суперечності виникають у двох аспектах: по-перше, пацієнти з легкими формами ВПВРНК, іноді, добре адаптуються до наявної НКС і не відчують обмежень у повсякденній активності; по-друге, артроскопічна реконструкція ускладнена через анатомічні особливості, зокрема звуження міжвиросткової ямки стегнової кістки (МЯСК). Це звуження обмежує огляд і простір для хірургічних маніпуляцій, а за умов аплазії задньої схрещеної зв'язки (PCL) та відсутності МЯСК імовірність оперативної невдачі зростає через необхідність пластики МЯСК [11]. У літературі вказано на додаткові аномалії дистального відділу стегна, такі як збільшення заднього кута схилу, гіпоплазія латерального виростка стегна й аномально закруглена задня кривизна виростка, що робить малоінвазивне оперативне втручання ще складнішим [55, 206]. Зрештою,

залишається відкритим питання, наскільки артроскопічне відновлення LGS за НКС у пацієнтів із ВПВРНК дійсно сприяє нормалізації кінематики колінного суглоба і запобігає прогресуванню дегенеративних змін після хірургічного подовження НК.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження було проведене у відділі патології хребта та суглобів дитячого віку ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» в межах планової НДР ЦФ.2020.2.НАМНУ «Вивчити механізми оптимізації регенерації кістки залежно від віку реципієнта в разі використання алогенних кісткових імплантатів у комбінації з мезенхімальними стромальними клітинами і біологічно активними факторами плазми крові» [№ державної реєстрації 0119U102341] та НДР ЦФ.2020.4.НАМНУ «Розробити комплексний підхід до лікування уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей» [№ державної реєстрації 0119U102343].

Матеріали клінічного дослідження пройшли розгляд на засіданні комітету з біоетики та деонтології при ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (протокол №198 від 09.12.2019). Члени комісії підтвердили, що протокол дослідження, процедура залучення й інформування учасників відповідають біоетичним стандартам і нормам, визначеними міжнародною спільнотою та чинним законодавством України; отже, дослідження виконувалося відповідно до сучасних етичних принципів клінічних випробувань [152].

### **Мета дослідження**

Підвищити ефективність лікування нестабільності колінного суглоба (НКС) у дітей із вродженими повздовжніми вадами розвитку нижньої кінцівки (ВПВРНК) за рахунок удосконалення діагностики НКС, підвищення результативності хірургічної позасуглобової стабілізації колінного суглоба (ПСКС) та розробки реабілітаційної програми для таких пацієнтів.

### **Завдання дослідження**

1. **Здійснити літературний аналіз сучасних методик лікування НКС у дітей із ВПВРНК**, щоб визначити найбільш ефективні та безпечні підходи до корекції НКС за ВПВРНК, а також виявити потенційні недоліки чи ризики існуючих хірургічних і консервативних методів для обґрунтування необхідності подальших досліджень і розробки удосконалених лікувальних протоколів.

2. **Провести розробку та валідацію україномовного опитувальника Pedi-ІКДС**, щоб забезпечити надійний та стандартизований інструмент для об'єктивної оцінки функціонального стану та якості життя дітей з НКС, адаптований до українського соціокультурного середовища, що дозволить покращити якість клінічних досліджень і підвищити ефективність контролю результатів лікування таких пацієнтів.

3. **Визначити нормальні показники міжвиросткової ямки стегнової кістки (МЯСК) у дітей різних вікових груп**, щоб створити вікові референтні значення, які дозволять точніше діагностувати патологічні зміни притаманні агенезії схрещених зв'язок, що дозволить планувати індивідуалізовані хірургічні втручання з урахуванням особливостей дитячого організму на різних етапах росту.

4. **Дослідити напружено-деформований стан елементів КС у дітей із ВПВРНК та з'ясувати характер змін після ПСКС**, щоб глибше зрозуміти біомеханічні особливості функціонування колінного суглоба до і після реконструктивних втручань, визначити чинники ризику повторної нестабільності або ускладнень, а також обґрунтувати оптимальні параметри оперативних втручань і післяопераційної реабілітації для покращення клінічних результатів і запобігання рецидивам патології.

5. **Удосконалити існуючу методику позасуглобової стабілізації колінного суглоба (ПСКС)**, щоб підвищити її ефективність, зменшити ризик післяопераційних ускладнень і повторної нестабільності, скоротити термін

реабілітації дітей з ВПВРНК, та забезпечити більш стійкий і довготривалий функціональний результат хірургічного лікування цієї категорії пацієнтів.

**6. Розробити реабілітаційну програму для дітей з НКС за ВПВРНК,** щоб забезпечити комплексний, персоналізований підхід до відновлення функціональної стабільності КС, прискорити процес одужання після хірургічного втручання, попередити розвиток ускладнень і повторних деформацій, а також максимально покращити якість життя та фізичну активність пацієнтів у довгостроковій перспективі.

#### **Об'єкт дослідження**

Нестабільність колінного суглоба в дітей із вродженими повздовжніми вадами розвитку нижньої кінцівки.

#### **Предмет дослідження**

Клінічні прояви НКС у разі ВПВРНК, антропометричні показники МЯСК, особливості біомеханіки КС за ВПВРНК, хірургічні методи стабілізації КС та реабілітаційні заходи для пацієнтів із НКС за ВПВРНК.

#### **Методи дослідження**

**Клінічні:** огляд і мануальні тести для виявлення НКС, анкетування за допомогою опитувальника Pedi-IKDC.

**Інструментальні:** (рентгенографія, ультрасонографія, комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ), електронейроміографія (ЕНМГ):

- рентгенографія КС у проєкції «тонелю» з використанням рентгенографічної й флюороскопічної системи OPERA T90сех (General Medical Merate S.p.a.); обробка даних — програмне забезпечення Myrian®, AutoCAD2021®, Excel®;

- УЗ-дослідження КС на ультразвуковій діагностичній системі TOSHIBA Aplio 500 (TUS-A500) (Toshiba Medical Systems Corporation);

- ЕНМГ за допомогою електронейроміографа НЕЙРО-МВП-8 (Neurosoft);

- КТ на апаратах приватних медичних центрів України з відповідною сертифікацією;

- МРТ на апаратах приватних діагностичних медичних центрів України, які мають відповідну сертифікацію.

**Біомеханічне моделювання:** виконано за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей здійснено з використання програмного комплексу CosmosM.

**Статистичні:** проведено статистичний аналіз за допомогою пакету статистичних програм Excel®. Усі отримані статистичні дані були узагальнені та порівняні за допомогою t-критерію Стьюдента.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Уперше визначено показники МЯСК у нормі в дітей різних вікових груп, що дає змогу виявляти вади закладки та розвитку LGS у пацієнтів раннього віку. Визначення подібних вад дозволяє прогнозувати розвиток НКС за ВПВРНК і своєчасно коригувати цю патологію.

2. Уперше отримано кількісні дані про напружено-деформований стан елементів колінного суглоба в нормі та у дітей із НКС за ВПВРНК, а також визначено характер біомеханічних змін після хірургічної стабілізації КС за методикою SUPER knee за D. Paley і проведено порівняння з показниками здорового КС. Розширено уявлення про біомеханіку КС завдяки створенню математичних моделей: здорового КС, КС із нестабільністю за ВПВРНК та КС із нестабільністю за ВПВРНК після проведення ПСКС.

3. Уперше розроблено реабілітаційну програму дітей із НКС за ВПВРНК, яка враховує особливості анатомії та вікового розвитку пацієнтів.

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Створено й адаптовано до міжнародних стандартів україномовну версію тесту Pedi-IKDC, який визнано «золотим стандартом» суб'єктивного дитячого опитувальника у світовій ортопедично-травматологічній практиці. Це дає змогу: проводити клінічне обстеження дітей із патологією КС в Україні; контролювати ефективність лікування в клінічних і наукових дослідженнях; порівнювати результати з іноземними колегами, завдяки чому підвищується

якість медичної допомоги та прозорість наукових даних. На момент впровадження результатів дослідження розроблений україномовний варіант Pedi-IKDC є єдиним суб'єктивним опитувальником для оцінювання стану КС у дітей на україномовному просторі.

2. Встановлені показники МЯСК у нормі в дітей різного віку дають змогу вже в ранньому віці виявляти вади закладки та розвитку LGS й ураховувати цю патологію під час планування довготривалого лікування дітей із ВПВРНК.

3. Удосконалено методику ПСКС (SUPER knee за D. Paley), що зменшує обсяг травмування м'яких тканин, скорочує тривалість оперативного втручання, а також покращує біомеханічні показники КС. У результаті зростають функціональні можливості суглоба та прискорюється післяопераційне відновлення.

4. Розроблено реабілітаційну програму для дітей із НКС за ВПВРНК, яка знижує ризик контрактур, застійних судинних проявів у нижній кінцівці, а також покращують навички контролю м'язів-стабілізаторів колінного суглоба. Завдяки цьому зменшується додаткове навантаження на ЗКА КС.

5. Запропоновано й обґрунтовано алгоритм обстеження та лікування дітей із НКС за ВПВРНК, що підвищує ефективність комплексного лікування та післяопераційної реабілітації таких пацієнтів.

### **Упровадження результатів роботи в практику**

Результати роботи впроваджені в практичну діяльність лікарів-ортопедів ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», КНП «Миколаївська обласна дитяча клінічна лікарня» МОР, КНП «Тернопільська обласна дитяча клінічна лікарня» МОР, КНП «Обласна клінічна травматологічна лікарня» ХОР, ТОВ «Медичний центр»Клініка НОВА» (додаток Е).

Результати роботи опубліковані в наукових фахових виданнях у формі статей, нововведень, тез і представлені у формі доповідей на науково-практичних конференціях, симпозіумах, з'їздах.

### **Особистий внесок здобувача**

Здобувачем особисто визначено напрямок дослідження, проведено патентно-інформаційний пошук за тематикою дослідження. Ним розроблено дизайн дослідження, сформовано групи пацієнтів, проведено їхнє клінічне обстеження та проаналізовано результати інструментальної діагностики. Також здобувачем підготовлено базу даних, виконано статистичну обробку та опрацьовано отримані результати. На підставі цих даних здобувач провів їхні узагальнення, сформулював висновки й практичні рекомендації, а також забезпечив упровадження результатів у практику закладів охорони здоров'я й навчальний процес.

### **Структура й обсяг дисертації.**

Дисертаційну роботу викладено на 206 сторінках комп'ютерного тексту, включаючи анотацію, вступ, огляд літератури, подання матеріалів і методів дослідження, розділів із результатами власних досліджень, аналізом і узагальненням отриманих даних, висновків, а також список літератури із 278 джерел (15 — кирилицею, 263 — латиницею). Робота ілюстрована 27 таблицями та 71 рисунком.

**РОЗДІЛ 1**  
**НЕСТАБІЛЬНІСТЬ КОЛІННОГО СУГЛОБА**  
**ЗА ВРОДЖЕНИХ ВАД РОЗВИТКУ НИЖНІХ КІНЦІВОК**  
**(АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)**

Проведено пошук за ключовими словами щодо НКС при ВПВРНК було використано такі запити: «knee», «knee subluxation», «femoral stretching», «congenital femoral deficiency», «proximal focal femoral deficiency», «congenital short femur», «congenital short tibia», «tibia stretching», «congenital tibia deficiency», «proximal focal leg deficiency», «fibular hemimelia». Загалом проаналізовано понад 500 профільних публікацій із науково метричних баз PubMed, NCBI, Google Scholar, Medscape, MedlinePlus, а з огляду на поодинокість патології й обмежену кількість робіт у цьому напрямі останніми роками, глибина пошуку становила 25 років.

Оцінити справжню поширеність НКС за ВПВРНК у суспільстві об'єктивно складно, оскільки зазвичай організм частково компенсує цей стан; тому діти не завжди скаржаться на прояви НКС, навіть коли клінічні тести свідчать про її наявність [6,101].

Дані щодо функціональних можливостей у повсякденній діяльності та спортивній активності дітей із ВПВРНК є обмеженими. Із невеликої кількості тривалих спостережень за такими пацієнтами можна навести приклад дослідження Crawford та співавт. [31], у якому взяли участь 23 особи з малогомілковою геміmelією (FH) та асоційованою вадюю LGS. Середня тривалість спостереження становила 18,6 року. Автори зазначають, що ці пацієнти можуть підтримувати помірно активний спосіб життя. Крім того, під час порівняння з контрольними групами відповідного віку та пацієнтами, які перенесли травматичні ушкодження зв'язково-капсульного апарата (ЗКА) КС, виявилось, що вроджений дефіцит LGS має краще компенсований характер — такі пацієнти менше скаржаться на НКС, ніж травмовані.

Науковці переважно вказують, що «активна провокація КС» (тобто умови або фактори, які перевищують можливості м'язового контролю й адаптації) є основним чинником прояву НКС. До провокуючих чинників, зокрема, належать надмірні фізичні навантаження, травматизація або хірургічні втручання для корекції вроджених повздожніх вад нижніх кінцівок, що можуть дестабілізувати суглоб шляхом порушення м'язового контролю [12, 15, 28, 38, 95, 139, 149, 150, 211, 215, 234, 236].

### **1.1. НКС за ВПВРНК – загальні поняття**

Загальне уявлення про об'єкт цього дослідження, а саме НКС за ВПВРНК, вимагає розуміння етіології й онтогенезу цієї патології, а також знань про анатомічні структури, які уражаються. Лише порівняння таких змін із нормальною анатомією та біомеханікою КС може дати чітке уявлення про можливі напрями корекції й лікування.

Термін «нестабільність колінного суглоба» має кілька близьких за змістом визначень. Наприклад, у літературі можна зустріти такі формулювання: «Гостре або хронічне порушення опорної функції колінного зчленування, що виникає внаслідок різноманітних захворювань і ушкоджень та проявляється у вигляді нестійкості (надлишкової амплітуди рухів) і вивихів у суглобі», «Стан, за якого елементи суглоба надлишково рухливі відносно свого нормального стану» [143], «Патологія, за якої спостерігається надмірна рухливість або, навпаки, недостатня амплітуда рухів, спричинена зміщенням суглобових поверхонь» [134].

За даними літератури, НКС через вади закладки й розвитку LGC може мати такі варіанти:

1. Ізольована агенезія LGC. Ця патологія вважається рідкісною вродженою вадю й зустрічається з частотою 1,7 випадку на 100 000 новонароджених [12, 17, 167]. Уперше підозри щодо такої аномалії з'явилися в

публікаціях Giorgi (1956) [60], а згодом підтвердилися під час хірургічного дослідження пацієнтів (1967) [106].

Агенезію LGC ділять на три типи [149, 242]: I – гіпоплазія (15 %) або аплазія (41 %) передньої схрещеної зв'язки (ACL) за наявності нормальної задньої схрещеної зв'язки (PCL); II – відсутність ACL та гіпоплазія PCL (20 %); III – відсутність міжвиросткової дуги та підвищення великогомілкової кістки з аплазією ACL і PC (24 %).

У наведеній статистиці враховано як ізольовану агенезію ACL, так і одночасну агенезію ACL й PCL. Даних про ізольовану агенезію PCL у літературі не виявлено.

2. Складова частина комплексних аномалій опорно-рухового апарата [157, 184, 234], серед яких: вроджені поздовжні вади розвитку нижньої кінцівки [95, 209, 262] – вроджена гіпоплазія стегнової кістки (CFD) [96, 149] та фібулярна геміmelія (FH) [33, 184, 205, 234]; клишоногість [27]; синдром Ларсена [138]; артрогрипоз (AMC) [123]; TAR (Thrombocytopenia-absent radius) – синдром [72, 79, 216, 236]; аномалії менісків [167, 236, 263]; патологія розвитку наколінка [12, 64, 76, 147, 172, 205].

3. Уроджений вивих гомілки, який зустрічається з частотою 0,1 на 100 000 новонароджених. Автори низки робіт наголошують, що в таких випадках аномалії ACL мають вторинний характер, тоді як основними причинами вродженого вивиху гомілки є фіброз чотириголового м'яза стегна або облітерація наколінка [23, 34, 93, 99, 239].

Особливий інтерес викликають вроджені повздовжні вади розвитку нижньої кінцівки (ВПВРНК), насамперед вроджена гіпоплазія стегнової кістки (CFD), яка трапляється з частотою 2,0 на 100 000 новонароджених [96, 149], і фібулярна геміmelія (FH), частота якої варіює від 1,7 до 2,0 на 100 000 новонароджених [33, 184, 205, 234]. За літературними даними, у разі CFD вроджені дефекти ACL спричиняють НКС у 90–100 % випадків, причому в 62 % спостерігається поєднання з аномаліями PCL. У разі FH показник агенезії LGC сягає 95 %.

### 1.1.1. Етіологія, онтогенез вродженої НКС

Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених розвитку КС, питання формування схрещених зв'язок (LGC) дотепер остаточно не з'ясоване. Вважається, що LGC походять із гомогенної суглобової інтерзони [108, 156, 171], а вторинне їх розміщення поза синовіальною капсулою зумовлене інвагінацією капсули суглоба. Водночас дані літератури щодо точного часу розвитку LGC різняться [4, 70, 71, 153, 156, 171]. Ембріологічні дослідження свідчать, що закладка всіх органів відбувається протягом перших восьми тижнів постовуляторного періоду ембріонального розвитку. Добре відомо, що між сьомим і десятим тижнями внутрішньоутробного розвитку відбувається конденсація та диференціювання міжхондрального диска, унаслідок чого формуються структури КС. У своїх працях O'Rahilly [171] розділив цей період на 23 стадії, під час яких проводив позрізово вивчення закладки та розвитку органів ембріона [153]. Згідно з даними O'Rahilly [171] LGC можуть з'являтися на стадії 20, проте найчастіше вони формуються на стадії 21, утворюючи клітинну конденсацію гомогенної інтерзони. Хондрифікація виростків стегнової й великогомілкової кісток розпочинається на стадіях 20 і 21, тоді як суглобова порожнина в стегново-великогомілковому зчленуванні формується на стадії 21. LGC добре помітні й розділені пухкою сполучною тканиною інтерзони, а напрямок передньої (ACL) і задньої (PCL) схрещених зв'язок відрізняється.

На рисунку 1.1 проілюстровано приклади зрізів у різні стадії розвитку ембріона, де 1.1(А) – Стадія 16 за O'Rahilly. Хрящові зачатки стегнової та великогомілкової кісток розділені проміжком рівномірної клітинної щільності, який формує первинну міжзону майбутнього колінного суглоба. Виявляються перші ознаки кавітації, що свідчить про початок формування суглобової порожнини; 1.1(Б) – Стадія 19. Латеральний та медіальний виростки стегнової кістки чітко окреслені. Латеральна колатеральна зв'язка простягається від стегнової кістки до головки малогомілкової кістки, тоді як медіальна

колатеральна зв'язка з'єднує стегнову кістку з великогомілковою; 1.1(В) – Стадія 20. Видно задню схрещену зв'язку та численні осередки кавітації. Збереження деяких внутрішньосуглобових тяжів може зумовити формування майбутніх складок; 1.1(Г) – Стадія 21. Додатково ідентифіковано передню схрещену зв'язку, а також чітко диференціюються стегнова кістка, великогомілкова кістка та головка малогомілкової кістки. На цій стадії в епіфізах ще відсутні судинні канали.

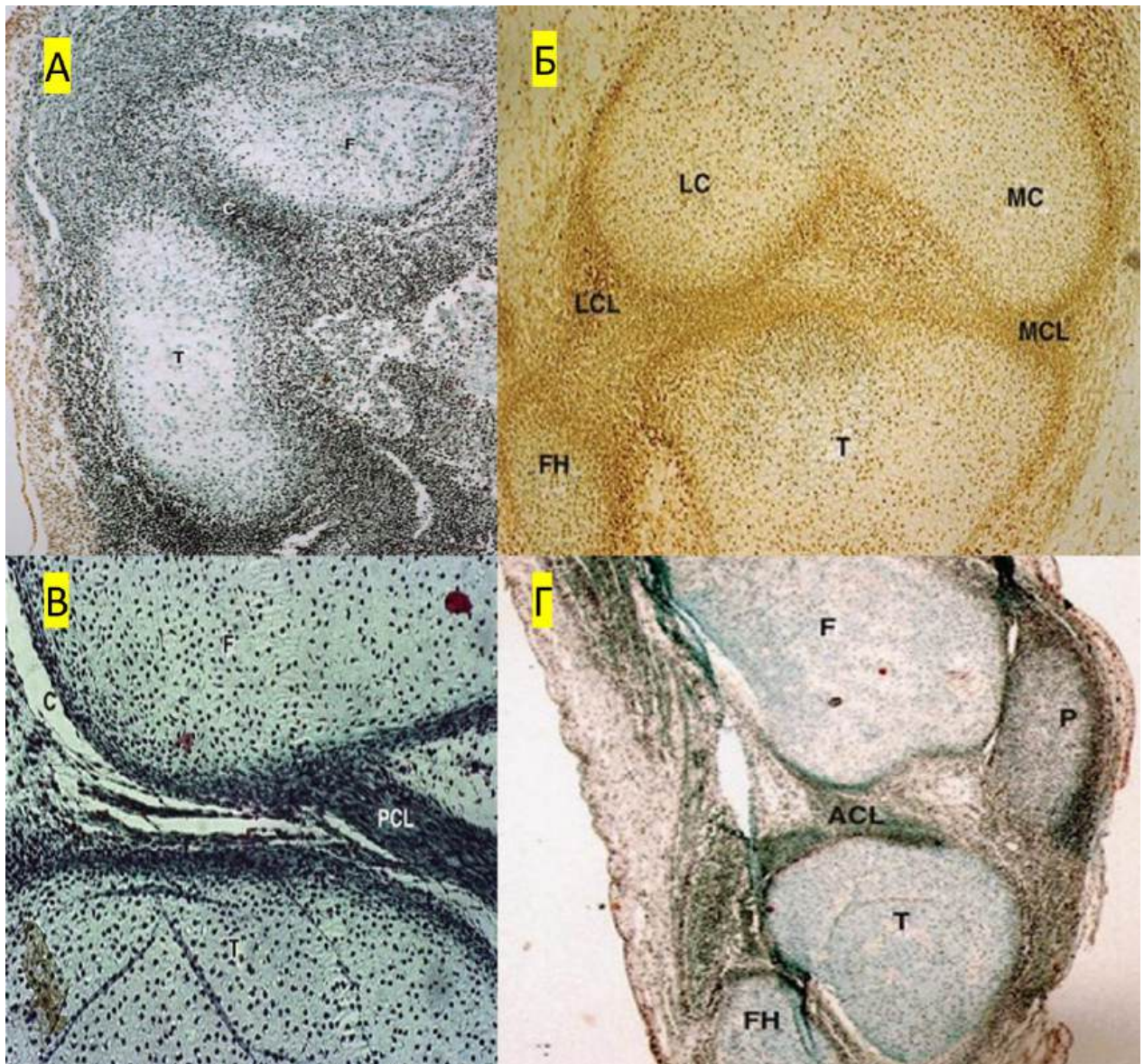


Рис. 1.1. Фотовідбитки зрізів колінного суглоба ембріона на різних стадіях розвитку за O'Rahilly: А – сагітальний розріз 16 Стадії, на якому проілюстровано суглобову порожнину, що формується, – С, F – стегнова кістка, Т – великогомілкова кістка; Б – Стадія 19, фронтальний розріз, FH – головка малогомілкової кістки, LC – латеральний виросток стегнової кістки, LCL – бічна колатеральна зв'язка, М – медіальний виросток стегнової кістки, MCL – медіальна колатеральна зв'язка, Т – великогомілкова кістка; В – Стадія 20 сагітальний розріз, С – суглобова порожнина, F – стегнова кістка, PCL – задня схрещена зв'язка, Т – великогомілкова кістка; Г – 21 Стадія сагітальний розріз, ACL – передня схрещена зв'язка, F – стегнова кістка, FH – головка малогомілкової кістки, Т – великогомілкова кістка, Р – наколінок [156]

У недавньому дослідженні Ratajczak [196] продемонстровано, що LGC, так само як і меніски, у всіх вивчених ембріонів з'являлися на Стадії 19 у

вигляді конденсації бластемних клітин у гомогенній інтерзоні. Із цієї бластеми формуються меніски, капсула й LGC, що, імовірно, пояснює часте співіснування аномалій усіх цих структур [106]. На стадіях 22 і 23 Gardner і O'Rahilly [131, 170] спостерігали LGC як чітко виражену клітинну конденсацію з кровоносними судинами навколо них. Задня меніско-стегнова зв'язка (зв'язка Wrisberg'a) виявляється на 10-му тижні ембріонального розвитку. Деякі дослідники припускають, що PCL формується першою, проте точних даних із цього приводу в літературі немає.

Відомо, що вроджені аномалії, які зумовлюють анатомічні дефекти, формуються в післяовуляційному періоді з 7-го по 10-й тиждень, як це описано в праця Manner [149]. Дотепер тривають дискусії, чи є зміни МЯСК і міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки первинними [39, 84, 95, 96], чи вони розвиваються як вторинна реакція на недорозвиненість LGC. Існує припущення, що головна роль МЯСК полягає у «розміщенні» LGC, отже, за їх відсутності МЯСК не розвивається. Giorgi [60] висунув гіпотезу, за якою формування міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки залежить від натягу LGC, і, якщо ці зв'язки вроджено відсутні, це, зрештою, призводить до дисплазії міжвиросткового підвищення. Інші автори [26], навпаки, вважають, що такі кістково-хрящові зміни в суглобі зумовлені загальними диспластичними явищами, а не є наслідком агенезії LGC.

Проте однозначно відомо наступне: закладка виростків стегна та великогомілкової кістки починається вже на сьомому тижні ембріонального розвитку одночасно з закладкою LGC; повна відсутність LGC супроводжується характерною рентгенологічною картиною КС типу «куля–заглибина», коли МЯСК виявляється цілком покритою гіаліновим хрящем [25].

### 1.1.2. Нормальна анатомія схрещених зв'язок та їх функція

Колінний суглоб є одним із найбільших і найскладніших у системі опори та руху людини [17]. Його формують три кістки: дистальний відділ стегнової кістки, проксимальний відділ великогомілкової кістки та наколінок. Через те, що виростки стегнової й великогомілкової кісток не є конгруентними, у суглобі можлива значна свобода рухів у трьох площинах [17]. Водночас така неповна конгруентність не сприяє стабільності, тож основна роль у забезпеченні статичної й динамічної стабільності належить м'якотканинним структурам — меніскам, зв'язково-капсульному апарата та м'язово-сухожильним комплексам [17, 160].

Виходячи із зазначеного вище, основною проблемою під час розвитку НКС у разі ВПВРНК є аномалія закладки й формування LGS.

Схрещені зв'язки – це унікальні структури, які розташовані в міжвиростковій ямці колінного суглоба, але відділені від неї синовіальною оболонкою [50].

Передня схрещена зв'язка – починається широкою основою на задніх відділах внутрішньої поверхні зовнішнього виростка стегнової кістки, спрямовується донизу, досередини й уперед, фіксуючись до переднього відділу міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки [17, 187]. Складається з двох основних пучків [61]: задньо-латерального та передньо-медіального, які по чергово натягуються під час руху суглоба. Це обумовлює функціонування ACL (запобігання передній трансляції великогомілкової кістки [24, 108, 195] та обмеження її внутрішньої ротації у повністю розігнутому положенні суглоба [45, 168] практично за будь-якого кута згинання).

Задня схрещена зв'язка – починається в передніх відділах внутрішньої поверхні медіального виростка стегнової кістки і прямує вниз та назовні, прикріплюючись до задньої міжвиросткової ямки великогомілкової кістки, частково влітаючись у задні відділи капсули суглоба [3, 17, 51]. PCL – найміцніша зв'язка КС, вона складається з двох пучків: передньо-латерального

та задньо-медіального [110]. Її функцію додатково підтримують дві меніско-стегнові зв'язки. Обидва пучки PCL діють синергетично й беруть участь у протидії зсуву великогомілкової кістки під час руху за всіх кутів згинання [192]. Окрім того, PCL є головним обмежувачем внутрішньої ротації й додатково обмежує зовнішню ротацію великогомілкової кістки за згинання понад  $90^\circ$  [67, 94, 111].

### 1.1.3. Біомеханіка колінного суглоба

Біомеханічні особливості КС зумовлені складним комплексом одночасних переміщень у кількох площинах. Зокрема, у процесі розгинання в діапазоні  $90^\circ$ – $180^\circ$  відбуваються зовнішня ротація та переднє зміщення великогомілкової кістки [74, 75, 144].

Повноцінна послідовність рухів у КС можлива лише за умови достатньої функціональної стабільності, яку забезпечують інтегрована взаємодія статичних і динамічних структур. До статичних структур належать кісткові елементи та суглобові зв'язки, тоді як до динамічних — м'язи та їхні сухожилки [127, 128, 131, 132, 134].

Чотириголовий м'яз стегна є одним із ключових динамічних стабілізаторів у сагітальній площині. Як антагоніст до м'язів-згиначів, він сприяє розгинанню проти дії гравітації, запобігає задній трансляції великогомілкової кістки, водночас виступаючи синергістом PCL та антагоністом ACL. Вважають, що саме цей м'яз має найважливіше значення у стабілізації КС, завдяки чому його часто називають «замком колінного суглоба». Чотириголовий м'яз складається з трьох односуглобових частин (латеральна, проміжна та медіальна) та однієї двосуглобової (пряма). Односуглобові компоненти виконують функцію розгинання в КС, стабілізують наколінок відповідно до власної орієнтації та під час розгинання беруть на себе 80 % навантаження [17, 160]. Пряма головка забезпечує згинання в кульшовому суглобі та розгинання у КС із часткою навантаження близько 20 %. Завдяки постійній активації під час ходи й можливості рефлекторної зміни напруження

м'язових волокон (так званий нервово-м'язовий контроль), чотириголовий м'яз набуває критичного значення в динамічній стабілізації КС.

Медіальний комплекс захищає КС від дії зовнішніх ротаційних сил і вальгусного зміщення. Задні структури цього комплексу подані напівсухожилковим, напівперетинчастим, тонким м'язами і медіальним черевцем литкового м'яза; вони протидіють зовнішньо-ротаційним зусиллям і появі «передньої висувної шухляди». Підколінний м'яз, у свою чергу, запобігає внутрішній ротації та розвитку «задньої висувної шухляди». Спільно вони не дозволяють затискати меніски та частини задньої капсули під час руху в КС [121] і виступають синергістами ACL та одnobічних зв'язкових структур [134].

Латеральний комплекс КС включає латеральну суглобову зв'язку, яка тісно зрощена з меніском, сухожилком литкового м'яза, що з'єднується зі задньою капсулою і підколінно-малогомілковою (підколінно-фібулярною) зв'язкою [31, 144]. Ці структури укріплюють капсулу КС у середній третині комплексу, оберігають від внутрішніх ротаційних сил і варусного відхилення, а також запобігають передній трансляції. Повздожньо-великогомілковий тракт разом із латеральною капсулою забезпечує бічну стійкість КС у процесі розгинання, запобігаючи варусному зміщенню [144]. Дві головки двоголового м'яза стегна (коротка та довга) беруть участь у стабілізації під час згинання й латеральної ротації, протидіють варусному зміщенню та надмірній передній трансляції великогомілкової кістки [10, 36, 132, 133, 135, 144, 232].

LGC центрально розташовані й забезпечують пасивну стабілізацію КС [201]. Їх функція – забезпечення ковзних і хитальних рухів, запобігання внутрішній ротації, бічній стабілізації й кінцевій ротації. ACL перешкоджає передній трансляції великогомілкової кістки, а PCL – задній [218].

Активні стабілізатори діють як синергісти відповідних схрещених зв'язок, отже, відіграють особливо важливу роль за наявності тимчасової чи стійкої їх неспроможності внаслідок травматичних ушкоджень, реконструктивних операцій чи вроджених аномалій розвитку ЗКА КС.

#### 1.1.4. Патогенез розвитку НКС за ВПВРНК і дестабілізації компенсаторних механізмів

З огляду на особливості біомеханіки та нормальної анатомії КС, можна припустити, що в процесі еволюції його будова сформувалася й адаптувалася передусім для витримування великих осьових і рухових навантажень. Завдяки потребі в мобільності в різних площинах суглобові поверхні в нормі залишаються частково конгруентними; відповідно суглоб не отримує належної стабілізації від кісткових структур. Це компенсується складною структурою ЗКА КС, здатного витримувати істотні фізичні зусилля без втрати рухомості. При цьому центральна роль належить LGC [241].

За наявності ВПВРНК у КС відбуваються не лише зміни в конфігурації суглобових поверхонь, а й у кількісних і якісних характеристиках ЗКА. Це порушує тонко збалансований механізм стабілізації та підвищує ризик дисфункції суглоба, який витримує вагоме осьове й рухове навантаження. За даними літератури, ключовими чинниками маніфестації НКС у разі ВПВРНК є надмірні фізичні навантаження, травми КС чи хірургічні корекції ВПВРНК. Зокрема, «суглобові ускладнення» під час подовження сегментів кінцівки залишаються одними з найсерйозніших, досягаючи майже 30 % усіх випадків ускладнень [140]. Приклади розвитку суглобових ускладнень за умов використання різних методик подовження кінцівки проілюстровано на рисунку 1.2. За час, коли вивихи у суміжних суглобах під час подовження траплялися приблизно у 30 % пацієнтів, було розроблено низку теорій і застосовано багато технічних удосконалень (наприклад, модифіковані апарати Ілізарова Smith & Nephew, Orthofix) [65].

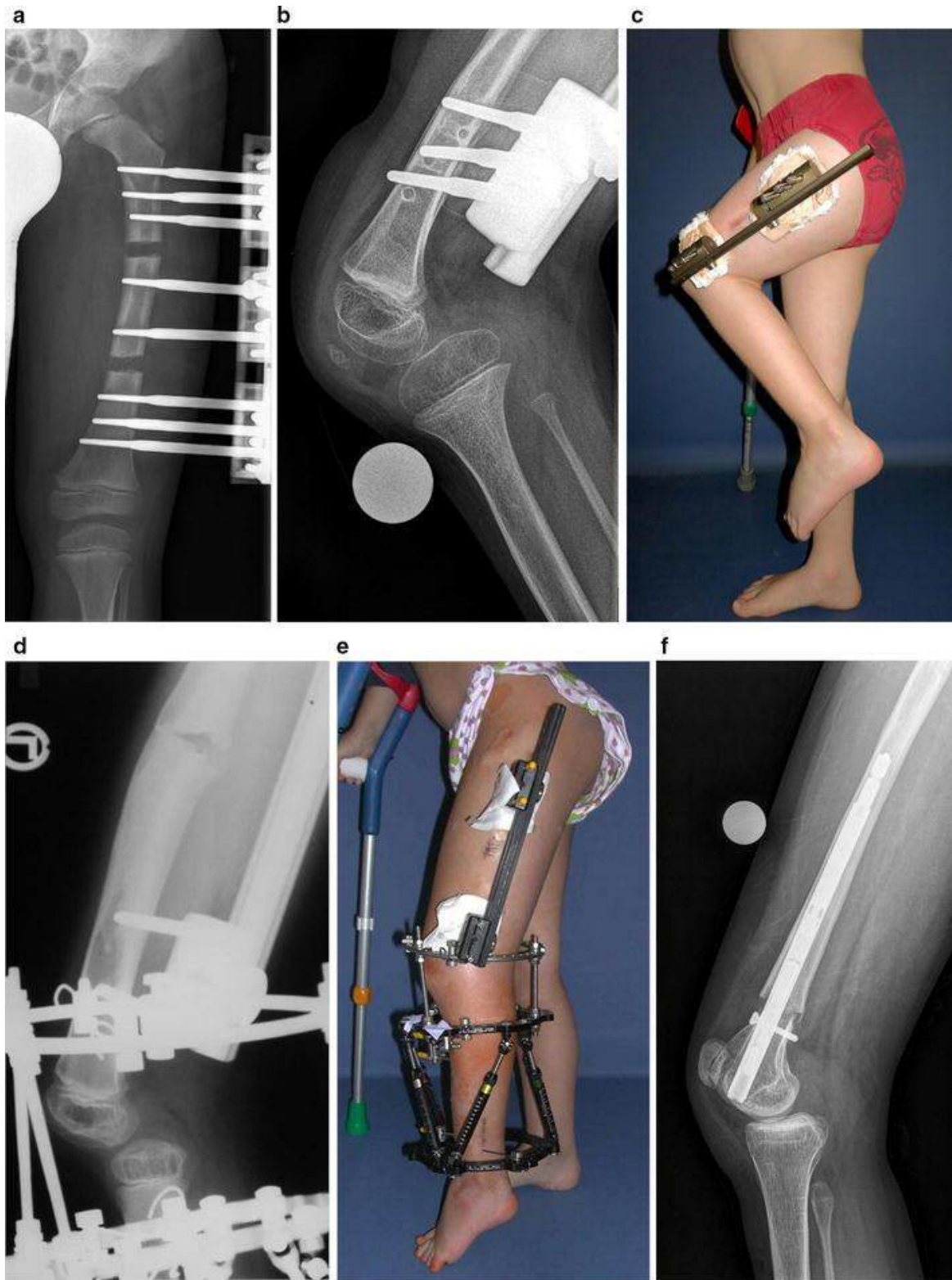


Рис. 1.2. Приклад підвишу КС під час корекції деформації кісток НК за допомогою різних типів металоконструкцій: монолатерального АЗФ без фіксації КС (а – в); поєднання монолатерального та циркулярного АЗФ із недостатнім захистом КС (d, e); ретроградним стрижнем PRECICE у 17-річного пацієнта з CFD та FH ( f ) [156]

Як свідчать Grill і Dungal [65], серед 37 хворих із вродженою вадою розвитку стегнової кістки (CFD), пролікованих за допомогою апаратів зовнішньої фіксації, у 21 % діагностовано вивих у КС. Аналогічно, системи Нехарод (просторова рама Тейлора, рама Ortho-SUV) зменшили кількість вивихів до 16 % серед загальної вибірки, проте в разі вродженої патології LGC ризик вивиху складав 57,4 %. Отже, з метою попередження підвивиху під час подовження сегментів нерідко й досі застосовують зовнішню фіксацію з шарнірами [148, 179]. Безпечне подовження та контроль мобільності КС забезпечує профілактичне з'єднання сегментів кінцівки шарнірною рамою [27]. Хоча монолатеральні фіксатори під час подовження у хворих із CFD чи FH можуть давати меншу стабільність, належна техніка монтажу з правильно розташованим шарніром (у ділянці центра обертання КС) зменшує ризик вивиху [104, 193]. В окремих спостереженнях цей ризик сягає 13 % [178]. Для підвищення комфорту та мінімізації ускладнень розроблено кілька методик подовження за допомогою моторизованих інтрамедулярних стрижнів (Fitbone, PRECISE, Phenix), що дають змогу більш контрольовано керувати стабільністю КС [13, 81, 115, 120, 124, 206, 225, 239]. Утім, низка дослідників вказує на існування ризику вивиху в КС і за використання інтрамедулярних систем [176, 221]. Зокрема, Shabtai та співавт. [221] проаналізували дані 21 пацієнта з ВПВРНК, яким встановлено стрижень PRECISE та додатково застосовано профілактичні обмежувальні ортези на КС [175, 176, 233]. У чотирьох із них з'явилися ознаки НКС. На рисунку 1.3 проілюстровано приклад використання зовнішнього індивідуального ортеза для стабілізації НКС за ВПВРНК під час корекції деформації кінцівки за допомогою методики керованого росту та антеградного стрижня PRECISE.



Рис. 1.3. Приклад використання зовнішнього індивідуального ортеза для стабілізації НКС за ВПВРНК (CFD та FH) під час корекції деформації кінцівки за допомогою методики керованого росту й антеградного стрижня PRECICE [156]

Автори зауважують, що НКС залишається великою проблемою для пацієнтів із використанням зазначеної методики подовження, тому рекомендують застосовувати спеціальні ортези для захисту КС [221]. Низка фахівців дотримується думки, що лікувально-діагностичний «золотий стандарт» у разі ризику НКС полягає в застосуванні зовнішніх фіксаторів із шарніром [177].

Незважаючи на суттєве технічне вдосконалення методик подовження кінцівок, у літературі трапляються повідомлення про вивихи в КС за умов

дотримання всіх операційних рекомендацій [221]. Це дає підстави припускати, що причиною вивиху є не лише механічні аспекти подовження, а й дефіцит або аномалії розвитку зв'язок КС. З урахуванням вищезазначених анатомо-біомеханічних особливостей зрозуміло, що в разі початкового дефекту пасивних стабілізаторів ЗКА компенсація відбувається завдяки активним стабілізаторам. Можливість рефлекторно змінювати тонус м'язів і силу їхнього натягу в літературі окреслюють поняттям «нервово-м'язовий контроль» [207, 251], який вважають одним із провідних чинників динамічної стабілізації КС [252].

Для вивчення можливостей м'язового контролю в осіб із дефіцитом ACL без травматичного анамнезу здійснювалися електроміографічні дослідження десяти м'язів, які оточують КС, під час виконання стандартизованих ізометричних завдань (згинання, розгинання, варус, вальгус). Було продемонстровано зміну специфічності реакції у вісьмох із десяти досліджуваних м'язів, що свідчить про компенсаторні стратегії їх активації за умов патології [251].

Додаткову ілюстрацію важливості активних стабілізаторів наводять праці з м'язової адаптації після травм ACL [20, 142, 186, 207]. Buchanan та Lloyd [22] проаналізували активаційні стратегії м'язів, які протидіють ізометричному згинально-варусно-вальгусному навантаженню. Виявлено, що за будь-якого бокового навантаження для забезпечення стабільності КС у функціональних випробуваннях основну роль відіграють двоголовий м'яз стегна та медіальна головка литкового м'яза, зберігаючи нормальну специфічність дії [256].

Потрібно враховувати також, що всі наведені дослідження проводилися за фізіологічних умов навантаження. У разі подовження кінцівки відбувається розтягнення всього сегмента, що може призвести до дисбалансу тону м'язів-антагоністів [254]. Так, С. О. Хмизов [274] експериментально довів, що напруження передньої групи м'язів під кінець подовження стегнової кістки переважала задню більш ніж на 312 %, що значно порушує компенсаційні механізми активної стабілізації КС.

Згідно з низкою досліджень, у понад 95–100 % випадків ВПВРНК спостерігаються аномалії розвитку LGC, зокрема стовідсоткова патологія ACL та її поєднання з патологією PCL у 60 % випадків. Таке значне поширення комбінованого ураження стегнової та великогомілкової кісток із вадами LGC зумовлене одночасним їхнім ембріональним розвитком із клітин одного типу. У ранньому віці прояви НКС незначні або відсутні, але в разі подовження кінцівки без належного захисту КС частота підвивихів досягає 57,4 % [140]. Отже, неспроможність ЗКА (зокрема, вроджений дефект LGC) слугує передумовою для виникнення суглобових ускладнень і дисфункції КС, що істотно знижує якість життя пацієнтів.

### **1.3. Методи діагностики НКС**

Діагностика будь-якої патології починається зі збору скарг та анамнезу [230], але нажаль пацієнти часто плутаються в інформації про себе, особливо діти, які іноді надають завідомо неправдиві відомості. Тому, зараз у клінічній ортопедії та травматології широко застосовують суб'єктивні опитувальники (Patient-Reported Outcomes, PROMs), які дозволяють отримати об'єктивізовану картину функціонального стану та якості життя пацієнтів [154]. Відомо, що дані клінічного огляду або інструментальних методів діагностики не завжди корелюють із функціональним результатом лікування та суб'єктивними відчуттями самого пацієнта. З огляду на це суб'єктивні шкали активно застосовують для об'єктивізації результатів і порівняння різних груп пацієнтів (за віком, статтю, видом травми, типом хірургічного втручання). Розроблено велику кількість різноманітних варіантів анкетування, але світове визнання отримала анкета розроблена міжнародним комітетом щодо документації колінного суглоба (International Knee Documentation Committee (IKDC) – тест IKDC 2000, який став стандартним галузевим документом для фіксації стану КС [213]. М. Dietvorst і співавт. [42] провели системний огляд статей стосовно травм КС у дітей, які ґрунтувалися на patient-reported outcomes (PROMs). У

своїй праці автори довели, що IKDC та KOOS втрачають свою достовірність під час лікування дітей через незрозумілість запитань. Після чого для дитячої травматології було створено анкети Pedi-IKDC та KOOS-Child [14, 42, 46, 63, 83, 92, 103, 118, 161, 204, 213]. За такої умови Pedi-IKDC та KOOS-Child є надійними і чутливим та рекомендовані для оцінки функціонального стану КС у дітей. А. Charlotte [240] під час транскультурної адаптації та валідації Pedi-IKDC на нідерландську мову, додатково виконано порівняння результатів тестів Pedi-IKDC та KOOS-Child. За результатами дослідження Pedi-IKDC більш відповідає потребам дитячої вибірки, ніж KOOS-Child.

#### Клінічна діагностика

Нестабільність КС зазвичай розрізняють за напрямом зміщення великогомілкової кістки відносно дистального відділу стегна (передня, задня, медіальна, латеральна, обертальна) [253]. Існує багато способів клінічного тестування, які можна поділити на стрес-тести, слайд-тести, pivot-shift та ротаційні проби [44, 166, 202, 203].

Стрес-тести. Найвідомішими є вальгусний (abduction) та варусний (adduction) стрес-тести, які дозволяють визначити ступінь ушкодження бокових зв'язок за величиною відкривання суглобової щілини. Тест Кебота застосовують для ізолюваного вивчення латеральної колатеральної зв'язки.

Слайд-тести. Найпоширенішим з-поміж них є тест «висувної шухляди», який дозволяє оцінити стан ACL та PCL за 90° згинання КС за повної релаксації динамічних стабілізаторів. Тест Лахмана (передній) передбачає згинання коліна на 30° і м'яке просування гомілки вперед; це менш болісний метод порівняно з «шухлядою» і зручніший у разі гострих травм [97, 105, 229].

Для аналізу PCL іноді застосовують задній тест Лахмана, проте він поступається за ефективністю тесту «задньої висувної шухляди».

Тест заднього провисання. Це статичний метод із 100 % специфічністю для виявлення дефіциту PCL. Пацієнт лежить на спині зі зігнутим коліном до 90°, а стопи вільно розташовані на поверхні столу. Позитивна проба полягає в

помітному «провисанні» проксимального відділу гомілки відносно виростків стегнової кістки.

**Pivot-shift тести.** Використовують для визначення обертальної нестабільності, яка з'являється за дефіциту ACL і характеризується дискомфортом або болем під час ривкових рухів у коліні в разі зміни напрямку руху [58]. McIntosh першим описав тест Pivot Shift як «зміщення в повороті». Noyes' Glide-тест ґрунтується на підвивиху великогомілкової кістки переважно в напрямку передньо-задньої нестабільності. Hughston's Jerk Test виконується подібним чином, проте з додатковою тракцією гомілки під час згинання й вальгусно-ротаційної сили.

**Ротаційні тести.** Застосовують задньо-латеральний кут (PLC) для виявлення задньолатеральної нестабільності, часто асоційованої з ушкодженнями ACL чи PCL. Тест на зовнішню ротацію (dial test) великогомілкової кістки дає змогу зіставити ступінь пасивного зовнішнього обертання в різних положеннях КС, а Slocum-тест оцінює обертальну нестабільність у бічній позиції.

Механічні вимірювальні прилади (наприклад, артрометр КТ-1000) також можуть бути корисними для кількісного оцінювання передньої трансляції, проте їх переважно застосовують із дослідницькою метою.

**Інструментальна візуалізація.**

Серед інструментальних методів першим за доступністю є ультразвукове дослідження КС, яке швидко візуалізує м'якотканинні структури. Для детального вивчення ушкоджень м'якотканинних елементів використовують магнітно-резонансну томографію [69, 70].

Також існує інформація щодо можливості рентгенологічного виявлення агенезії LGC за рахунок недорозвинення МЯСК. Manner та співавт. [6] довели кореляцію між аномаліями форми МЯСК і дефіцитом LGC, підтвердженими артроскопічно. Walker [7], досліджуючи НКС за FH, зафіксував низку випадків недорозвиненого міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки за агенезії LGC. Проте параметри рентгенографії здебільшого вивчалися в дітей зі

завершеним або майже завершеним ростом, тоді як наразі бракує вікових норм для усіх вікових категорій [37, 43, 53, 89, 90, 98, 158, 163, 174]. У дослідженнях D. Paley [180] наголошується на доцільності врахування тривалого й багатоетапного лікування пацієнтів із ВПВРНК, оскільки відсутність симптомів НКС до початку корекції не виключає їх маніфестації в процесі подовження [275, 278].

Артроскопія вважається «золотим стандартом» діагностики виявлених уражень, проте є високоінвазивною та не завжди виправданою.

#### **1.4. Лікування НКС за ВПВРНК**

З огляду на рідкісний характер цієї патології в літературі відсутні однакові погляди щодо оптимальної тактики лікування в разі агенезії LGS [11]. Деякі автори вважають, що операція не показана, оскільки вроджена відсутність зв'язок часто добре переноситься, а реконструктивні втручання передбачають технічні труднощі й високий ризик незадовільних результатів. Крім того, внутрішньосуглобова поверхня теж є нетиповою, що може зруйнувати наявну компенсаторну пристосованість [7, 76, 95, 215, 234].

Корекція довжини та/або осі кінцівки за ВПВРНК часто істотно покращує функціональність і підвищує рівень активності, водночас посилюючи навантаження на КС. Більшість фахівців надає перевагу першочерговому вирішенню деформації або вкороченню кінцівки з меншою увагою до НКС, що стає причиною вивихів чи підвивихів КС під час подовження [33, 52, 95, 96, 101, 234]. Для запобігання ускладненням використовують різні техніки, зокрема шарнірну фіксацію КС, фізіотерапію, варіювання темпів дистракції (аж до її зупинки) [176, 177], а також тимчасове вкорочення кістки. Отже, вибір правильного хірургічного втручання та дотримання профілактичних заходів [39, 57] є критичною умовою успішного лікування [15].

Поширеними показаннями до операції з метою стабілізації КС вважають симптоматичну НКС, що не підлягає консервативному лікуванню, вивих або

підвивих до чи під час подовження, а також хірургічне лікування вродженого вивиху гомілки.

Основними принципами хірургічного втручання для стабілізації КС є: відновлення механічної осі нижньої кінцівки [162, 181, 224]; урахування вікових біомеханічних особливостей та ступеня скелетної зрілості [16, 162]; реконструкція всього стабілізуючого комплексу КС [57, 117, 151, 229]; корекція будь-яких супутніх внутрішньосуглобових ушкоджень [57].

Артроскопічні методи стабілізації КС у таких випадках описані поодинокі й застосовуються переважно за ізольованої агенезії ACL чи для видалення внутрішньосуглобових перешкод [11, 55, 57, 91, 149, 236, 240]. У разі комбінованих дефектів (наприклад, агенезія LGC) артроскопічна реконструкція є складнішою через потребу формування двох ізометричних пучків із анатомічним прикріпленням трансплантатів у суглобі зі зміненою будовою, що часто вимагало б агресивної пластики МЯСК. Тому позасуглобова стабілізація (ПСКС) залишається пріоритетною альтернативою, бо зберігає внутрішньосуглобові адаптивні механізми [221]. Найбільш комплексною методикою ПСКС за вродженої НКС є SUPER knee, запропонована D. Paley [180]. За потреби додатково стабілізують наколінок (бічне вивільнення капсули, медіалізація сухожилка наколінка за Grammont та/або аутотрансплантація з широкої фасції стегна), що забезпечує більш повну стабілізацію [179].

### **1.5. Історичні аспекти розвитку позасуглобової реконструкції LGC**

У ретроспективному огляді можна простежити, що концепція хірургічної стабілізації КС проходила повторні цикли. Ранні розробки часто забуті або переосмислені без посилань на першовідкривачів. Так, 1907 року F. Lange описав перше позасуглобове втручання, ушиваючи капсулу за допомогою шовкових ниток. У 1913 році K. Giertz відтворив бічні зв'язки за допомогою трансплантата з фасції широкої (FL) у 13-річної дівчинки. Згодом H. Matti

(1918) застосував вільний фасціальний клапоть поза суглобом для заміщення розірваної ACL. У 1937 році F. Strickler запропонував бічну комбіновану техніку з тунелями у стегні та великогомілковій кістці, ця методика наведена на рисунку 1.4. A. Helfet (1963) та A. Ellison (1970-ті) розвивали ідею контролю ротації КС із «зовнішнього обода колеса», що, на їх думку, давало перевагу над «внутрішнім» відновленням схрещених зв'язок, яка зображена на рисунку 1.5. [213].

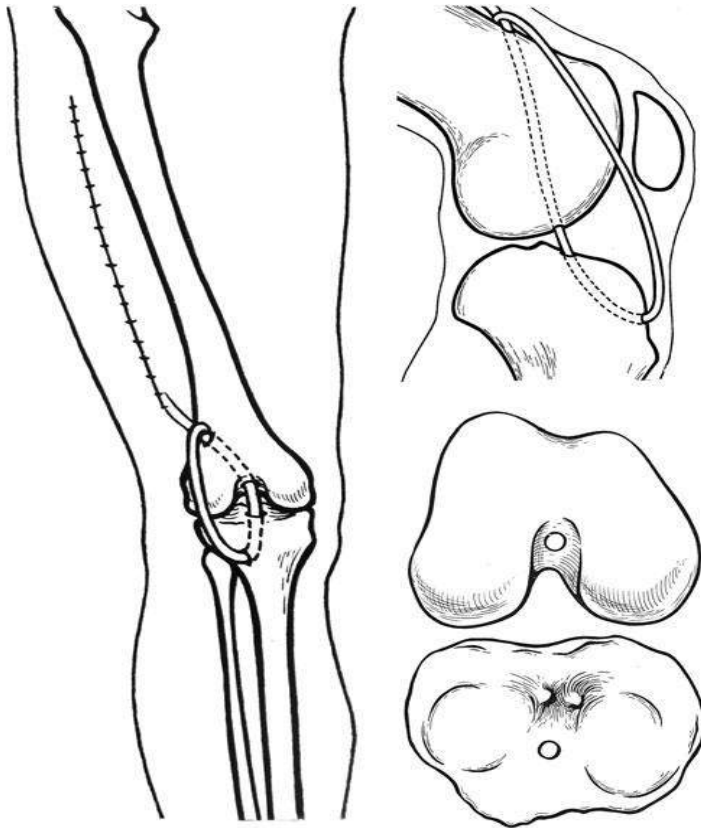


Рис. 1.4. Комбінована внутрішньо- та позасуглобова реконструкція з петлі із широкої фасції стегна (FL), запропонована Frank Strickler, яка була розроблена для усунення недостатності як ACL, так і PCL [214]

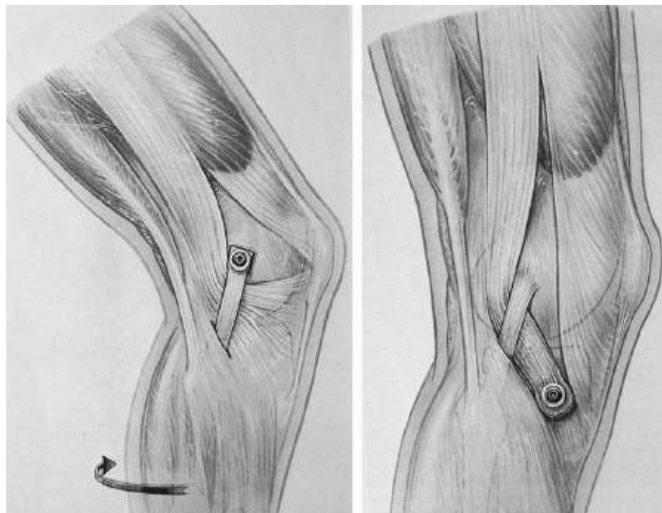


Рис. 1.5. Латеральна ПСКС шляхом транспозиції FL за Jäger і Wirth (ліворуч) і Ellison (праворуч) [214]

Методики Lemaire (1960), MacIntosh (1970-1980) та ін. стали популярними в Європі й Канаді. Marcel Lemaire описав дистально прикріплену смугу FL, яку проводили під LCL та через латеральний виросток стегнової кістки [213]. MacIntosh модифікував підхід, обминаючи потребу в кістковому тунелі, натомість виводячи фасціальний клапоть через міжм'язову перетинку, на рисунку 1.6 проілюстровано інтраопераційну фотографію MacIntosh (зліва) та схему бічної стабілізації (справа).

У 1970-1980-х роках розвивалися численні варіанти позасуглобової стабілізації (Trillat, Ellison, Jäger, Wirth, Losee, Müller, Andrews). Розуміння ролі ізометрії та потреби в регуляції напруження трансплантатів привело до більш складних процедур, наприклад, «мініреконструкції» за Дж. Ендрюсом (1983).

У 1994 р. D. Paley запропонував методику SUPER knee (Systematic Utilitarian Procedure for Extremity Reconstruction), яка об'єднує переваги різних позасуглобових доступів із максимальним урахуванням специфіки дитячої ортопедичної патології [179]. Вона й дотепер вважається найповнішою схемою ПСКС.

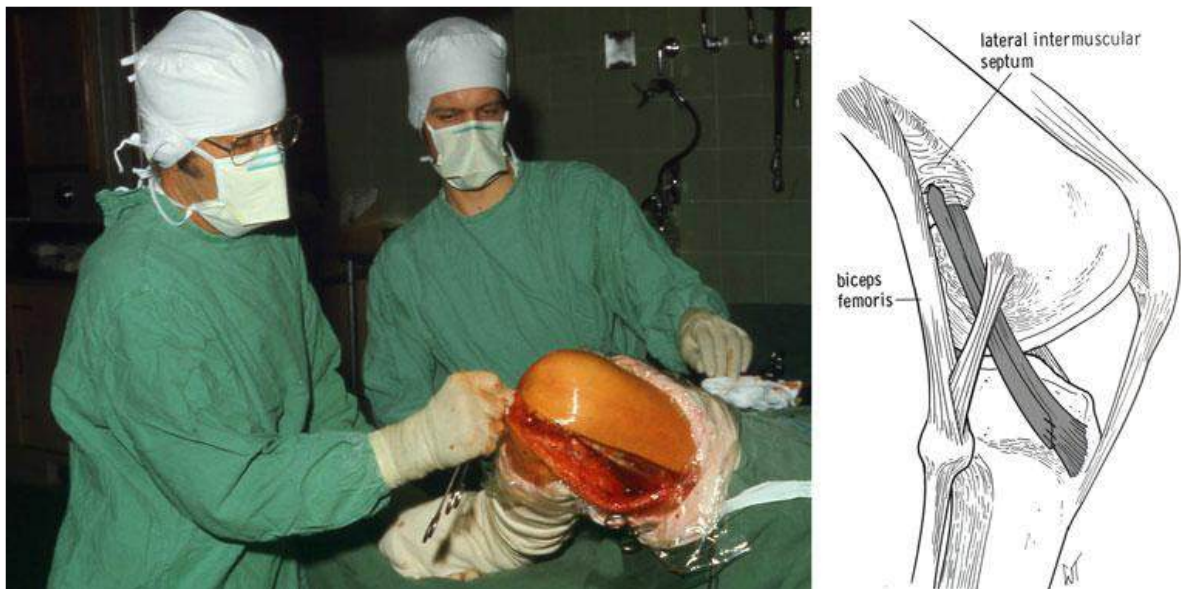


Рис. 1.6. MacIntosh (крайній зліва) проводить «реконструкцію бічної заміни». Процедура була популярною серед хірургів протягом 1980–1990-х років і використовувалася ізольовано або в поєднанні з внутрішньосуглобовими реконструкціями [213]

## 1.6. Хірургічна стабілізація КС за методикою SUPER knee D. Paley

Ураховуючи вроджено змінену анатомію КС та створені організмом механізми адаптації найкращими методами стабілізації КС є ПСКС.

Найоптимальнішою технікою наразі момент є методика SUPER knee (D. Paley) [178, 180, 181, 182], що дозволяє створити позасуглобові аналоги ACL та PCL, крім того зміцнюючи колатеральні зв'язки КС, відновлюючи стабільність КС у всіх напрямках. Загальну схему проведення оперативного втручання зображено на рисунках 1.7 та 1.8.

### **SUPER knee (переклад оригінальної методики автора)**

Крок 1. Вивільнення FL (рис. 1.7, а).

Для доступу до КС виконується довгий S-подібний розріз, що починається проксимально на середньо-боковій поверхні стегна та закінчується дистально нижче горбистості великогомілкової кістки. FL відсікається на рівні м'язово-сухожилкового з'єднання з м'язом напружувачем FL і виділяється дистально до місця кріплення на великогомілковій кістці (горбик Gerdy).

Крок 2. Лігаментизація FL (рис. 1.7, б).

FL слід розділити на дві поздовжні смуги та створити дві зв'язки. Формують дві зв'язки (FL<sub>1</sub> та FL<sub>2</sub>) за допомогою неабсорбуючого шовного матеріалу та методики Krackow, від дистального до проксимального краю.

Крок 3. Латеральний реліз і процедура Grammont.

Якщо наколінок зміщений але відсутній його вивих, необхідно його бічне вивільнення та транспозиція власної зв'язки наколінка медіально. Латеральні капсула та зв'язки наколінка слід розсікти не відкриваючи суглоб. Бічне вивільнення поширюється дистально на бічний аспект власної зв'язки наколінка. Цей поздовжній глибокий розріз слід витягнути поза горбистістю великогомілкової кістки вздовж гребеня гомілки, розсікається проксимальне окістя великогомілкової кістки. Паралельно виконується глибокий розріз по медіальній поверхні власної зв'язки

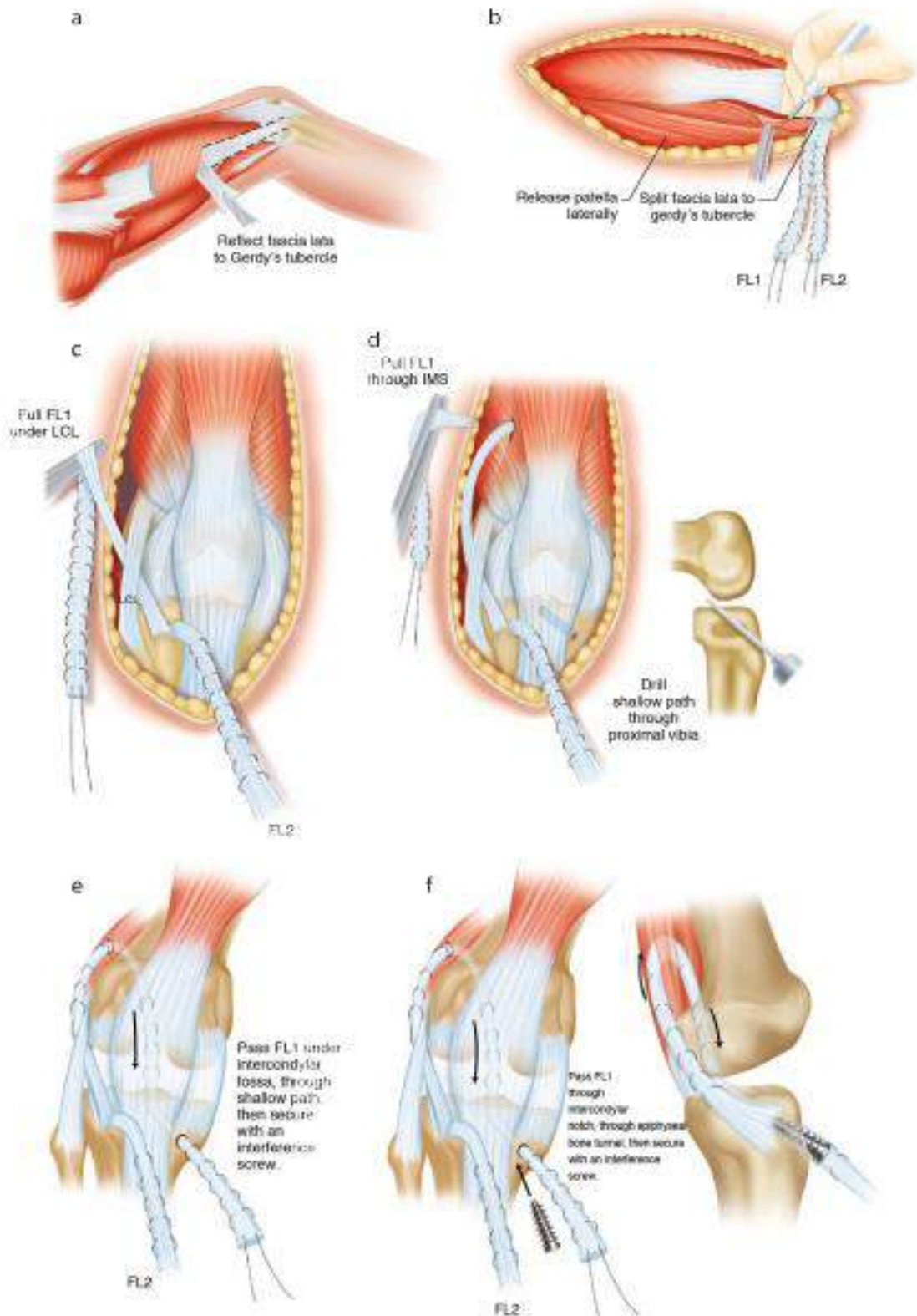


Рис. 1.7. Схема формування аналога ACL за методикою SUPER knee D. Paley [177, 179, 180, 181]. А – вивільнення FL, В – формування аутозв'язок, С – проведення аналога ACL під LCL, D – схема проведення аналога ACL через міжм'язеву перетинку, Е – схема проведення аналога ACL внутрішньосуглобово, F – схема фіксації аналога ACL у в/гомілковій кістці

наколінка. За допомогою різкого розтину лезом скальпеля, сухожилки наколінка піднімаються з горбистості, намагаючись при цьому не травмувати зону росту, якщо це можливо. Одномоментно власна зв'язка наколінка відшаровується так, що відокремлена його зв'язка залишається прикріплена дистально. Це процедура (описана Grammont) є педіатричним еквівалентом процедури Elmslie-Trillat у дорослих. Зв'язка наколінка тепер може бути зміщена медіально та фіксована до горбистості великогомілкової кістки швом із резорбтивного матеріалу.

#### Крок 4. Позасуглобова реконструкція PCL (зворотний MacIntosh).

Для запобігання зовнішньої ротації гомілки, яка призводить до підвиху наколінка та зміщення гомілки назад відносно стегна, медіальна позасуглобова зв'язка створюється з використанням медіальної половини FL (FL<sub>2</sub>). Це створює ремінь, що охоплює медіальну поверхню гомілки та фіксує її до медіального виростку стегнової кістки. Це протилежний напрямок FL<sub>1</sub> (наступний крок). Бічна позасуглобова зв'язка була описана David MacIntosh для відновлення ACL. У його честь і на знак визнання його ідеї бічної позасуглобової зв'язки, було впроваджено назву «зворотний MacInstosh» для цієї зв'язки.

#### Створення PCL.

Для фіксації FL<sub>2</sub> на медіальний виросток стегнової кістки необхідно підняти шкірний клапоть у медіальному напрямку. Його формують якомога товстішим і відводять медіально для візуалізації vastus medialis, medial intermusclar septum (рудиментарна) і сухожилок adductor magnus розташовується позаду від vastus medialis. Слід бути обережним, щоб ізолювати і не пошкодити підшкірний нерв, коли він виходить з quadriceps як кінцева гілка стегнового нерва. Підперіостальний тунель створюється навколо adductor magnus.

Передній кінець FL<sub>2</sub> проходить під власною зв'язкою наколінка (рис. 1.8, g), через поверхневий тунель у медіальній капсулі КС і обвів навколо adductor magnus (відзаду та наперед), а потім пришиті сам на себе нерезсмоктуючими

нитками. Потрібно переконатися, що FL<sub>2</sub> є ізометричною, та фіксувати до дистального відділу епіфізу великогомілкової кістки (рис. 1.8h). Автор віддає перевагу фіксації розсмоктуючим матеріалом. Фіксація проводиться в положенні згинання колінного суглоба до 90 °, в момент напруження FL<sub>2</sub>. Після цього частина, яка зациклена навколо adductor magnus можна пришити «сам на сам» використовуючи резорбтивний матеріал.

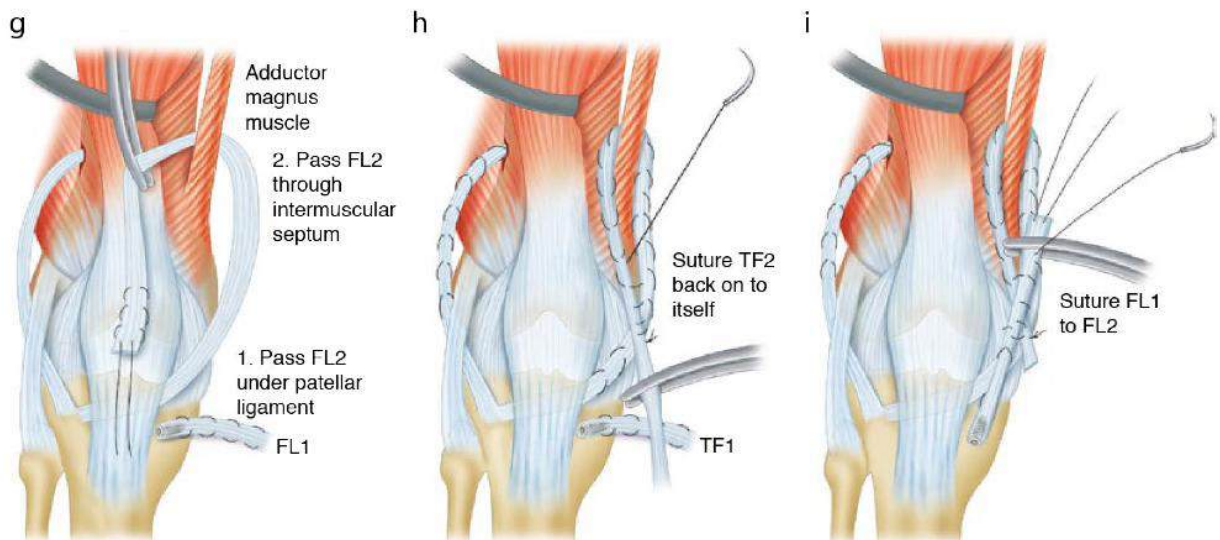


Рис. 1.8 Схема формування аналога PCL за методикою SUPER knee (D. Paley) [177, 179, 180, 181]; g – проведення PCL, h – фіксація PCL, і – з'єднання ACL та PCL

Надлишок зв'язок зберігається і зашивається зі залишком нового ACL під час його виходу з тунелю гомілку на наступному кроці (рис. 1.8i).

Крок 5: MacIntosh поза- + внутрішньосуглобова ACL реконструкція. David MacIntosh описав уперше реконструкцію позасуглобової зв'язки для стабілізації КС за умов ушкоджені ACL, а в подальшому комбіновану поза- та внутрішньосуглобову реконструкцію за технікою «over-the-top». Ця методика, хоча більше не використовується в спортивній медицині, проте є дуже корисною для КС за ВПВРНК. У таких випадках клінічна картина НКС відрізняється від ізольованого ушкодження ACL, бо спостерігається велика ротаційна нестабільність, тому методики MacIntosh недостатньо. Поєднання поза- та внутрішньосуглобової реконструкції ACL ідеально підходить для

стабілізації КС за CFD. Автор модернізував методику MacIntosh адаптувавши її для використання у дітей. На сьогодні методику можна безпечно використовувати під час лікування дітей віком до 2 років. LCL ідентифікована за допомогою тесту Grant's – нога кладеться у положення «4», що дозволяє легко пальпувати натягнуту LCL. Поки LCL під натягом – створюється позасуглобовий тунель під нею. Кінець FL<sub>1</sub> проходить через тунель під LCL спереду-дозаду (рис. 1.7, с). Виконується субперіостальний розтин у зоні прикріплення intermuscular septum. Вигнутим затискачем створюється тунель «зверху-донизу» та використовується для перфорації задньої капсули КС у центрі (рис. 1.7, d). Далі необхідно розсвердлити тунель для проведення FL<sub>1</sub> та фіксації в передньому епіфізі великогомілкової кістки. Під контролем ЕОП виконується засвердлювання провідника по передній частині епіфізу великогомілкової кістки. Він повинен входити вище проксимальної фізіальної лінії великогомілкової кістки, латеральніше від власної зв'язки наколінка. Провідник повинен бути спрямований проксимально і назад для виходу в центр заднього краю великогомілкової кістки. Через те, що пацієнтів відсутня міжвиросткова ямка, а її пластика – не бажана, краще зв'язку провести в задній частині гомілки, ніж у звичайному КС. Після того, як положення провідника підтверджено за допомогою ЕОП, канал розсверджується канюльованим свердлом діаметр якого відповідає розміру FL<sub>1</sub>. Тоді провідник для зв'язок проводиться через канал і перфорацію в капсулі КС та за його допомогою виводиться назовні FL<sub>1</sub> (рис. 1.7, е). Виконується фіксація зв'язки до латерального виростка. Позасуглобову зв'язку слід натягнути за умов повного розгинання коліна для запобігання згинальної контрактури КС. FL<sub>1</sub> фіксується в каналі за допомогою біодеградуючого гвинта (рис. 1.7, f). Зі зростанням епіфізу пацієнта, зв'язка стає більш натягнутою. Тому не потрібно турбуватися щодо недостатньої напруженості ACL. Автор віддає перевагу додатковому зміцненню за рахунок зшивання FL<sub>1</sub> на FL<sub>2</sub> (рис. 1.8, i).

Основною метою SUPER knee є стабілізація вроджено деформованого КС у всіх напрямках не порушуючи наявні компенсаторні механізми.

Методика SUPER knee, незважаючи на її високу ефективність у дитячій ортопедії, має певні недоліки (тривалий час операції, технічна складність втручання, великий хірургічний доступ). Також у літературі бракує досліджень щодо впливу ПСКС на біомеханічні параметри КС.

### **Резюме до розділу**

Зважаючи, що майже 90 % пацієнтів із ВПВРНК може розвинути НКС через дефекти LGC, які у повсякденній активності часто залишаються субклінічними, то ризик вивиху КС у процесі хірургічного подовження залишається високим і може сягати 57,4 % [139]. Неспроможність ЗКА КС зумовлена вродженими дефектами LGC, що спричиняє тяжкі суглобові ускладнення, зниження функціональних можливостей і якості життя пацієнтів.

Загальна стратегія обстеження пацієнтів із ВПВРНК має включати:

- суб'єктивну оцінку за допомогою анкет (Pedi-IKDC, KOOS-Child тощо);
- клінічні стрес-тести, тести «висувної шухляди», pivot shift, ротаційні проби;
- інструментальні методи візуалізації (рентгенограми в кількох проєкціях, УЗД, за потреби МРТ).

Незважаючи на розвиток сучасних систем подовження (Hexapod, інтрамедулярні моторизовані стрижні), кількість ускладнень, зокрема й НКС, залишається значною (від 20 до 57 %). Таким чином, максимальний функціональний результат можливий лише за умови дотримання загальних принципів подовження та розробки спеціалізованого алгоритму лікування й обстеження, який включатиме поглиблену діагностику ЗКА й профілактичні чи реконструктивні заходи [57]. Це зумовлено необхідністю забезпечення КС упродовж процесу подовження та гарантії функціонального результату в перспективі.

### Проблемні питання та завдання подальших досліджень

1. Відсутність адаптованого опитувальника державною мовою. Необхідність валідованої версії Pedi-IKDC українською мовою, яка б забезпечила об'єктивну оцінку функціональності КС та зіставлення даних із міжнародним досвідом.

2. Відсутність рентгенологічних показників норми МЯСК у дітей різних вікових груп. У літературі бракує параметрів міжвиросткової ямки для різних вікових груп, необхідних для диференційної діагностики НКС і під час планування лікування у дітей із ВПВРНК.

3. Обмежені знання про біомеханіку КС за аплазії LGC за ВПВРНК. У світовій літературі не вистачає даних щодо особливостей рухового патерну КС за вродженої агенезії ACL/PCL.

4. Відсутність уніфікованої тактики лікування НКС за ВПВРНК. Часто вважають, що НКС виникає виключно через помилки подовження, ігноруючи вроджені особливості розвитку LGC.

5. Необхідність удосконалення методики ПСКС. Оптимізація операційної техніки зменшила б травматичність доступів та час втручання, а також мінімізувала ризики післяопераційних ускладнень.

Вирішення цих питань лежить в основі завдань подальшого наукового пошуку та розробки єдиної концепції лікування НКС у разі ВПВРНК у дітей.

Матеріали розділу 1 наведені в наступних публікаціях

1. Якушкін Є., Хмизов С., Кацалап Є., Пашенко А. Нестабільність колінного суглоба у дітей з аномаліями розвитку нижніх кінцівок. Ускладнення хірургічного лікування чи окрема патологія? *Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування* : матеріали IV наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 3 – 5 вересня 2020 р. / ЗДМУ, ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». – Запоріжжя, 2020.

2. Якушкін Є.Ю., Хмизов С.О., Кацалап Є.С. Світові тенденції у лікуванні нестабільності колінного суглоба у дітей з поздовжніми вадами

розвитку нижніх кінцівок. *Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 2-4 вересня / ЗДМУ, Запоріжжя-Приморськ, 2021. С. 94.

3. Khmyzov, S., Yakushkin, Y., & Katsalap, Y. (2021). Knee joint instability in conditions of congenital malformations of the lower extremities. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 80-85. <https://doi.org/10.15674/0030-59872021180-85>.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Загальна характеристика клінічного матеріалу

Для досягнення основної мети дисертаційного дослідження, а саме підвищення ефективності лікування НКС у дітей із ВПВРНК, згідно з темою роботи було сформовано клінічну групу спостереження. До цієї групи ввійшли 64 дитини віком від 2 до 18 років обох статей (таб. 2.1), у яких діагностовано НКС на тлі ВПВРНК та які перебували на обстеженні або лікуванні у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (додаток Є). Формування саме цієї групи пацієнтів має безпосереднє значення для подальшого клінічного аналізу отриманих результатів, обґрунтування висновків та практичних рекомендацій дослідження.

*Таблиця 2.1*

#### Розподілення кількості пацієнтів за групами та статтю

Група	Пацієнти	Стать	
		жіноча	чоловіча
А1 (класична операція SUPER knee)	19	11	8
А2 (лікування за вдосконаленою методикою ПСКС та після програми реабілітаційного лікування)	26	11	15
Б (консервативне лікування)	19	10	9
Усього	64	32	32

Дисертаційна робота додатково містить три самостійних дослідження, два з яких спрямовані на усунення наявних прогалин у діагностиці КС. Перше з них стосується адаптації опитувальника Pedi-IKDC, друге – визначення рентгенологічних параметрів норми МЯСК. Оскільки метою цих двох досліджень було виключно вдосконалення діагностичного інструментарію, пацієнти, які брали в них участь, не увійшли до основної клінічної групи

спостереження, а їхній стан після завершення досліджень додатково не моніторували. Третє – присвячене експериментальному математичному моделюванню.

Характеристика клінічного матеріалу, а також використані матеріали та методи, детально наведені в наступних підрозділах цього розділу окремо для кожного з проведених досліджень. Такий підхід забезпечує структуроване викладення інформації та сприяє її кращому сприйняттю і розумінню.

## **2.2. Розробка та валідація україномовного опитувальника Pedi-ICKDC**

На сьогодні в україномовному науковому та медичному просторі відсутні міжнародно стандартизовані опитувальники чи анкети, призначені для об'єктивного оцінювання стану КС у дітей, які були б ефективними діагностичними інструментами для первинного обстеження та моніторингу результатів лікування цієї патології. Ураховуючи це, нами вперше в Україні здійснено переклад, культурну адаптацію та валідацію опитувальника Pedi-ICKDC, який на сьогодні є найбільш чутливим міжнародно визнаним інструментом для оцінювання функціонального стану КС у дітей [240].

Процес перекладу й адаптації опитувальника було узгоджено з правовласником — AOSSM (American Orthopaedic Society for Sports Medicine) [238]. Робота виконувалася відповідно до міжнародних вимог, описаних у «Recommendations for the Cross-Cultural Adaptation of Health Status Measures» Американської академії ортопедів-хірургів (American Academy of Orthopaedic Surgeons Institute for Work & Health) [228, 237].

Згідно з вищезазначеними вимогами оригінальна версія тесту (додаток А, рис. А1, А2, А3) перекладена двома незалежними фахівцями: лікарем ортопедом-травматологом, який досконало володіє англійською мовою й орієнтується передусім на клінічний зміст анкети, та професійним перекладачем (так званим «наївним» перекладачем, котрий не має медичної освіти й тим самим неупереджено відтворює зміст). Згодом обидва переклади

було об'єднано в один узгоджений варіант колективом авторів (перекладачі та дисертант, як куратор дослідження). Усі запитання, щодо яких виникали розбіжності, вирішувалися консенсусним шляхом із метою досягнення одночасно клінічної точності та зрозумілості формулювань для дитячої аудиторії.

Отриману україномовну версію Pedi-İKDC протестовано на неоднорідній групі з 10 дітей віком від 5 до 15 років, які лікувалися з приводу патології колінного суглоба у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». Із кожним респондентом проведено співбесіду щодо складності завдань і у разі виявлення незрозумілих чи нечітких моментів здійснювалися відповідні корективи. Після врахування цих правок сформували остаточну україномовну версію Pedi-İKDC (додаток А, рис. А8, А9, А10). Пацієнти, залучені на етапі пілотного дослідження, не були включені у валідаційну вибірку.

Після коригувань і завершення перекладу двоє носіїв англійської мови без медичної освіти, які не були ознайомлені з оригіналом опитувальника, незалежно один від одного здійснили зворотний переклад сформованої нами україномовної версії. Потім обидва зворотні переклади зіставлялися з оригінальними англійськими версіями Pedi-İKDC, під час аналізу зворотного перекладу недоліків не встановлено. Результати обчислюються в балах, для розрахунку яких передбачено використання офіційної форми, розробленої правовласником і доступної на сайті AOSSM (додаток А, рис. А4, А5, А6), а також відповідного калькулятора (додаток А, рис. А7).

Із метою підтвердження валідності (англ. validation – процедура перевірки відповідності отриманих результатів до раніше затверджених стандартів і підтвердження чутливості інструмента) розробленого нами україномовного опитувальника Pedi-İKDC, проведено валідаційне дослідження, яке здійснювалося в два етапи.

Перший з них передбачав аналіз відповідності отриманих нами результатів за україномовною версією опитувальника даним дослідження

A.Y. Nasreddine [163], у якому проаналізовано результати обстеження 1 921 дитини без патології колінного суглоба за оригінальним англомовним опитувальником Pedi-IKDC та визначено критерії норми. На цьому етапі в дослідженні брали участь 50 дітей обох статей (7–18 років) без патології нижніх кінцівок із достатнім володінням українською мовою; вони одноразово заповнювали анкету Pedi-IKDC. Оброблення первинних даних здійснювали зі застосуванням розробленого шаблону в програмі Excel®. Визначали основні статистичні параметри результатів опитування за допомогою створеного нами україномовного Pedi-IKDC – середнє арифметичне, стандартне відхилення та помилку репрезентативності. Отримані показники порівнювалися з результатами A.Y. Nasreddine [160, 163]. Оскільки розподіл результатів мав нормальний характер, для подальших порівнянь використано методи математичної статистики, які базуються на нормальному розподілі, а саме t-критерій Стьюдента.

Другий етап дослідження спрямований на визначення клінічної чутливості створеної нами україномовної версії опитувальника Pedi-IKDC. Він ґрунтувався на аналізі результатів анкетування 100 дітей віком від 7 до 18 років із підтвердженими патологіями колінного суглоба (КС) та відповідними функціональними обмеженнями з достатнім володінням українською мовою. Пацієнти проходили опитування двічі: перед початком лікування та через 5 місяців після його завершення, під час контрольного огляду. Період у 5 місяців обраний як оптимальний для виявлення клінічно значущих змін у стані пацієнтів. Для забезпечення своєчасності контрольних оглядів учасникам, за необхідності, нагадували про них за допомогою електронної пошти або телефонних повідомлень. Обробка здійснена в програмі Excel®. Визначено основні статистичні параметри результатів опитування за створеною нами україномовною анкетною. Для статистичного порівняння результатів опитування пацієнтів до і після хірургічного лікування використано парний t-критерій Стьюдента.

### **2.3. Вивчення показників норми рентгенологічних параметрів міжвиросткової ямки стегнової кістки в дітей різних вікових категорій**

Згідно з даними, наведеними в огляді літератури, відомо, що вади закладки та розвитку схрещених зв'язок колінного суглоба можуть бути опосередковано діагностовані за допомогою інструментальної візуалізації міжвиросткової ямки стегнової кістки (МЯСК) на підставі виявлення порушень її розвитку. Проте в клінічній практиці зазначений метод практично не використовується через відсутність чітких параметрів вікової норми цього анатомічного утворення та неможливість диференціювати варіанти його розвитку від патологічних змін. Ураховуючи це, нами було проведено інструментальне дослідження з метою визначення параметрів норми МЯСК у дітей різних вікових груп. У цьому дослідженні параметри МЯСК визначалися рентгенологічно з подальшим порівнянням отриманих результатів із відповідними даними, одержаними під час аналізу методами додаткової візуалізації – магнітно-резонансної томографії та комп'ютерної томографії.

У межах цього діагностичного дослідження обстежено 358 колінних суглобів у 217 дітей віком від 2 до 18 років. Усі учасники або їхні законні представники надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні. Вибірку розподілили на дві основні когорти.

Перша включала 90 дітей, яким проведено клінічне обстеження стабільності КС (проба Лахмана, тести передньої та задньої висувної шухляди), а також рентгенографічне обстеження. У складі цієї когорти було 56 осіб без патології НК та 34 дитини з різноманітними вадами НК, з яких у 21 пацієнта встановлено НКС на фоні ВПВРНК.

Друга когорта інструментального дослідження охоплювала 181 КС у 127 пацієнтів, які проходили лікування у відділенні в період із 2008 до 2021 року та мали архівні результати КТ або МРТ КС, виконані у віці від 2 до 18 років. До неї увійшло 49 осіб без патології НК та 78 дітей з різноманітними вадами НК,

із них у 15 пацієнтів підтверджено нестабільність колінного суглоба за ВПВРНК та виявлено аплазію схрещених зв'язок.

Детальніший розподіл пацієнтів за когортами та характером патології кінцівки наведено в таблиці 2.2.

*Таблиця 2.2*

**Характеристика розподілу учасників дослідження  
за когортами та відносно наявної патології НК**

Розподілення наявності кінцівки в разі патології	Загальна кількість пацієнтів	I когорта (Rg)	II когорта (КТ та МРТ)	
			КТ	МРТ
Усього дітей	217	90	86	41
Без патології НК	105	56	29	20
Із вродженими вадами НК	112	34	57	21
із них з НКС за ВПВРНК	36	21	6	9

Із метою врахування фізіологічних особливостей рентгенологічної картини в дітей різних вікових категорій, учасники обох когорти були розподілені на шість вікових груп відповідно до класифікації Садоф'євої [270]: I група (2–3 роки), II група (3,5–5 років), III група (6–7 років), IV група (8–11 років), V група (12–14 років), VI група (15–18 років). Характер розподілу кількості пацієнтів та обстежених КС відносно вікових груп і наявності патології наведено в таблиці 2.3.

## Розподілення учасників дослідження за віком

Група (роки)	Діти без патології КС		Пацієнти з вадами розвитку кінцівки включаючи ВПВРНК		Загальна кількість	
	Кількість					
	особи	КС	особи	КС	особи	КС
I (2–3)	15	20	11	19	26	39
II (3,5–5)	6	11	12	20	18	31
III (6–7)	7	14	12	21	19	35
IV (8–11)	30	47	31	56	61	103
V (12–14)	21	31	18	35	39	66
VI (15–18)	26	38	28	46	54	84
Усього	105	161	112	197	217	358

У дослідженні використовувалася методика вимірювання параметрів МЯСК запропонована Manner et al. [148, 158], яка передбачає визначення висоти МЯСК від суглобової щілини до вершини її купола, а також ширини самої ямки та дистального відділу стегнової кістки на рівні підколінної борозни. Проте в дітей молодше 10 років підколінна борозна не візуалізується, тому для уніфікації методику модифіковано. Висоту МЯСК визначали за оригінальною схемою, а ширину дистального відділу стегнової кістки та МЯСК вимірювали на рівні суглобової щілини, за необхідності продовжуючи лінію ямки вздовж внутрішньої поверхні латерального виростка.

Для порівняння отриманих даних і встановлення нормальних показників запропоновано систему індексів (рисунок 2.1):

Індекс А — співвідношення ширини МЯСК (а) до ширини виростків стегнової кістки (b);

Індекс В — співвідношення ширини виростків стегнової кістки (b) до ширини МЯСК (а);

Індекс С — співвідношення ширини МЯСК (а) до висоти МЯСК(с).

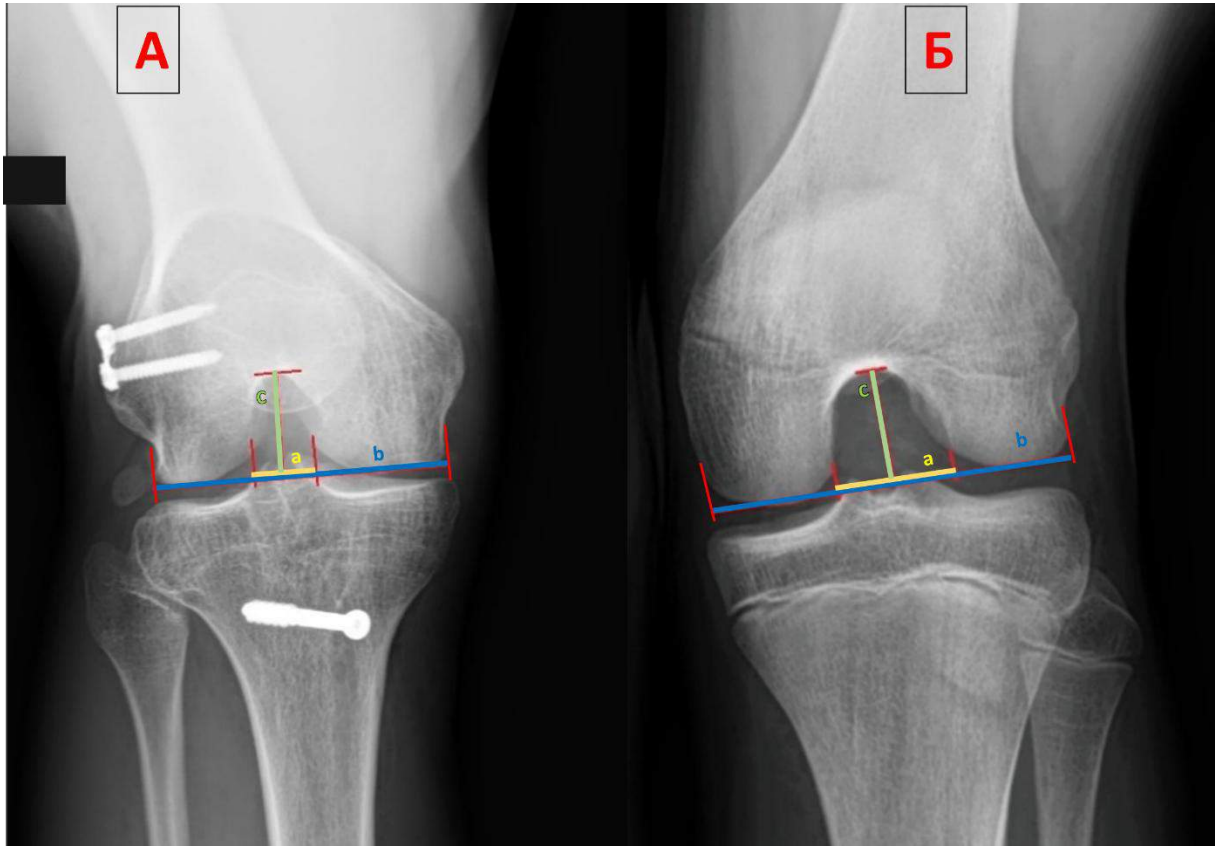


Рис. 2.1. Схематичне зображення вимірювальних параметрів МЯСК у дітей на прикладі фотовідбитку рентгенограми обох КС одного пацієнта, де кінцівка А – має НКС за ВПВРНК, кінцівка Б – без патології; а – ширина МЯСК, b – ширина виростків стегнової кістки, с – висота МЯСК

Для оптимальної візуалізації МЯСК за допомогою рентгенографії рекомендується застосовувати аксілярні рентгенологічні знімки КС, зокрема, передньо-аксілярну проєкцію (так звану «проєкцію тонелю»), яка виконується переважно двома методами: за Кемп Ковентрі або Холмбладом.

Метод Кемп Ковентрі (рис. 2.2) сприятливіший для пацієнта, оскільки передбачає згинання КС до 50°, проте при цьому неможливо отримати повну візуалізацію анатомічних структур.



Рис. 2.2. Виконання рентгенографії в проєкції тонелю (розташування за Кемп Ковентрі)

Натомість метод Холмблада (рис. 2.3) є зручнішим для діагноста: під час згинання КС до  $70^\circ$  наколінок зміщується за межі виростків стегнової кістки, відкриваючи міжвиросткову ямку та дозволяючи виявити її максимальну висоту без проєкційних спотворень.



Рис. 2.3. Виконання рентгенографії в проєкції тонелю (розташування за Холмбладом) [19], яка дозволяє змістити наколінок за межі виростків стегнової кістки, відкриваючи міжвиросткову ямку та дозволяючи виявити її максимальну висоту без проєкційних спотворень

Щодо задньо-аксілярної проєкції (рис. 2.4), вона має істотні проєкційні спотворення через збільшену відстань між об'єктом дослідження та рентгенплівкою.



Рис. 2.4. Виконання рентгенографії в проєкції тонелю (розташування для задньо-аксілярної проєкції)

Проведена низка пробних знімків продемонструвала перевагу саме передньо-аксілярної проєкції (проєкції тонелю) за методикою Холмблада, яку й було обрано основною. Алгоритм розміщення пацієнта за Холмбладом (рис. 2.3) полягав у наступному:

1. Пацієнт розташовується на рентген-столі, спираючись на коліна, при цьому касета розміщується безпосередньо під досліджуваним КС;
2. Для зменшення навантаження на уражений суглоб пацієнта просять перенести вагу тіла на здорову нижню кінцівку.
3. Під гомілки підкладають рушник, аби мінімізувати тиск на м'які тканини;
4. Під контролем лікаря пацієнт повільно переміщує тулуб уперед, доки кут згинання у КС не досягне  $70^\circ$ ;
5. Таз і стегно дитини до середньої третини закривають рентгензахисним екраном;

6. Центральний промінь спрямовують перпендикулярно до площини касети та вздовж осі гомілки;
7. Точка прицілювання центрального променя – середина підколінного згину;
8. Відстань від рентгенівської трубки до плівки – 100 см.

Рентгенографічні дослідження першої когорти виконували за допомогою рентгенографічної та флюороскопічної системи OPERA T90сех (General Medical Merate S.p.a. Italy). Знімки виконувалися обох КС, а для стандартизації кутів згинання й отримання порівнянних результатів було виготовлено стандартний упор, який фіксував  $70^\circ$  згинання в КС. Зображення з проєкційними спотвореннями чи артефактами виключалися з подальшого аналізу. Знімки виконувалися досвідченим фахівцем із променевої діагностики. Подальші вимірювання виконували в програмах Myrian®, RadiAnt® та AutoCAD2021®, а статистичний аналіз — у Microsoft Excel®.

Клінічне обстеження та рентгенологічне дослідження проведено усім 90 учасникам, було протестовано 180 КС, тоді як отримано 177 придатних до аналізу рентгенограм КС. Розподіл першої когорти за кількістю обстежених КС за віковими групами та відносно наявності патології НК відображено в таблиці 2.4.

*Таблиця 2.4*

**Розподіл першої когорти за віковими групами та відношенням до наявності патології НК**

Група (роки)	Загальна кількість	КС без патології	КС у кінцівках із вадами розвитку	
			Стабільні КС	НКС за ВПВРНК
I (2–3)	20	10	5	5
II (3,5–5)	21	14	6	1
III (6–7)	21	12	7	2
IV (8–11)	46	28	9	9
V (12–14)	26	18	7	1
VI (15–18)	43	30	10	3
Усього	177	112	44	21

У другій кагорті проаналізовано зображення 181 КС у 127 пацієнтів, а саме проаналізовано КТ дослідження 86 пацієнтів (140 КС), серед яких 29 КС без патології та 111 КС із вродженою патологією. У 6 пацієнтів із вибірки виявлено ВПВРНК та НКС, після ПСКС. Також було вивчено результати МРТ 41 дітей (41 КС), із яких 20 КС не мали вродженої патології, 21 зі вродженою патологією НК; серед цієї підгрупи 9 пацієнтів мали ВПВРНК та НКС, стосовно якої перенесли оперативне лікування.

Аналіз досліджень проводили в програмі RadiAnt® та AutoCAD2021®, а статистичний аналіз — у Microsoft Excel®. КТ та МРТ дослідження проведені в сертифікованих діагностичних центрах України з наявною відповідною сертифікацією та передані добровільно пацієнтами до їхніх історій хвороб для зберігання в архіві ДУ «ПІХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України».

Для зіставлення точності рентген-результатів із даними КТ і МРТ застосовували t-критерій Стьюдента.

#### **2.4. Вивчення деформацій зв'язкового апарата КС за допомогою експериментального математичного моделювання напружено-деформованого стану моделі КС у разі аплазії LGC та після відновлення зв'язкового апарата**

Із метою отримання нової інформації щодо біомеханічних особливостей КС за агенезії LGC проведено експериментальне математичне моделювання. У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» розроблено 3 базові скінченно-елементні моделі НК [18, 112, 221], де Модель 1 (НК без патології) створено на основі 3D-реконструкції, отриманої з результатів КТ здорової кінцівки пацієнта з ВПВРНК, і доповнено колатеральними та схрещеними зв'язками (рис. 2.5).

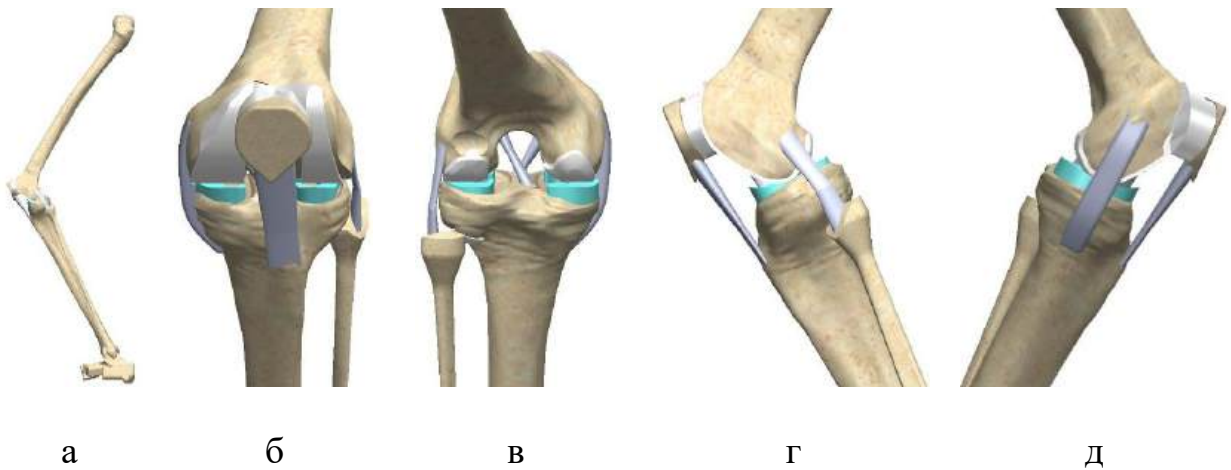


Рис. 2.5. Скінченно-елементна модель колінного суглоба в нормі (Модель 1), вигляд: а – загальний; б – спереду; в – ззаду; г – з латерального боку; д – з медіального боку

На основі 3D-реконструкції патологічно зміненої кінцівки цього самого пацієнта, яка характеризувалася набутою НКС за ВПВРНК, було створено Модель 2 (НК з аплазією LGC), зовнішній вигляд якої наведено на рис. 2.6.

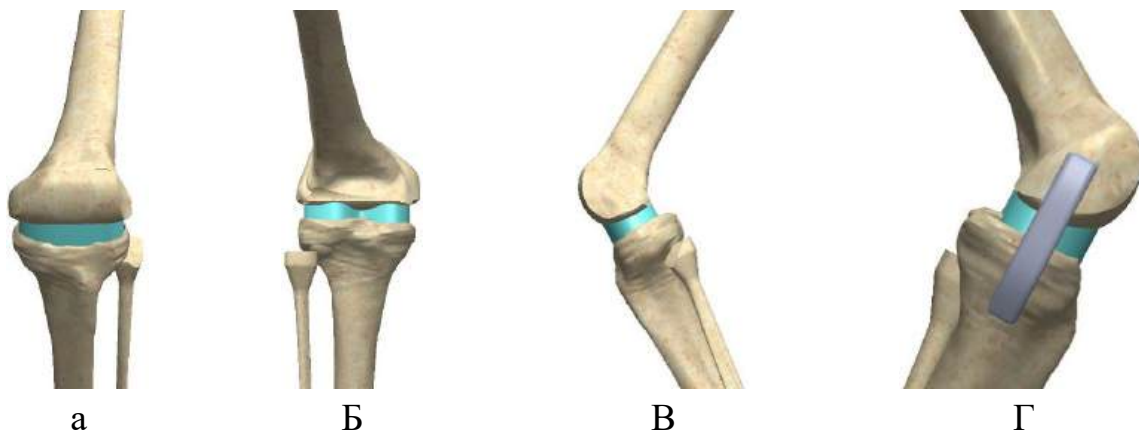


Рис. 2.6. Скінченно-елементна модель колінного суглоба в разі аплазії LGC (Модель 2), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального боку; г – з медіального боку

Модель 3 (НК з аплазією LGC після SUPER knee) була сформована на основі Моделі 2 та відображала стан КС після реконструктивного втручання за методикою «SUPER knee» (D. Paley) [179]. Для відтворення зв'язкового апарата в останній моделі використано лавсан, механічні характеристики якого

наближені до властивостей створеної з фасціальних структур і прошитих нерезорбтативним шовним матеріалом аутозв'язок, що застосовуються в клінічній практиці для реконструкції зв'язок. Зовнішній вигляд реконструйованої моделі наведено на рис. 2.7.

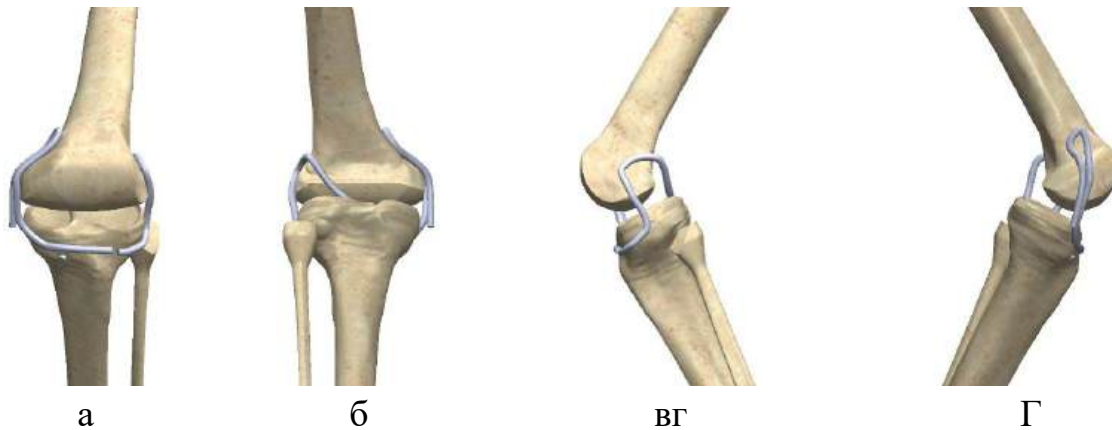


Рис. 2.7. Скінченно-елементна модель КС після операції за методикою SUPER knee за D. Paley (Модель 3), вигляд: а – спереду ;б – ззаду; в – з латерального боку; г – з медіального боку

Модель 4. (НК з аплазією LGC з модифікацією ПСКС) була сформована на основі Моделі 3 та відображала стан КС після після виконання оперативного втручання за модифікованою методикою SUPER knee за D.Paley з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок з медіального боку. Зовнішній вигляд даної моделі представлений на рис. 2.8.

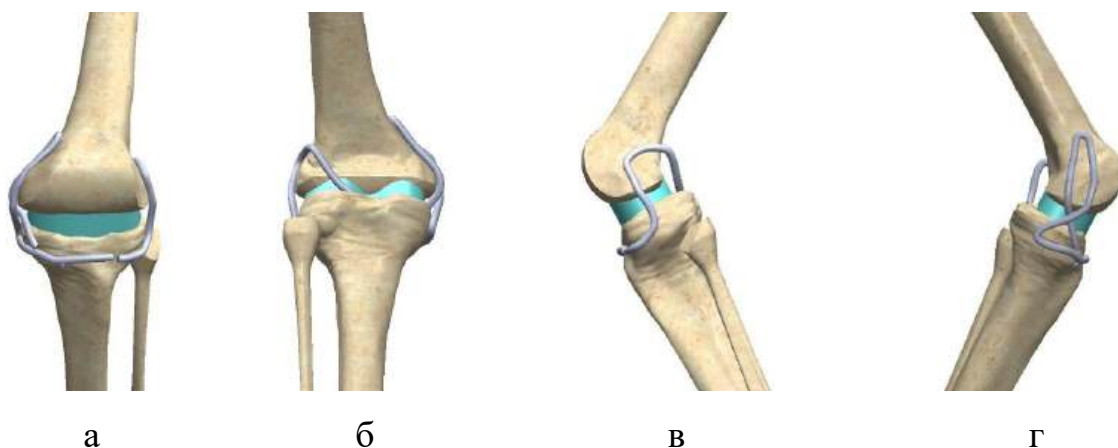


Рис. 2.8. Скінченно-елементна модель КС після операції за модифікованою методикою SUPER knee за D.Paley з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального боку; г – з медіального боку

Під час моделювання всі матеріали вважали однорідними й ізотропними; скінченно-елементне наближення реалізували 10-вузловим тетраедром. Механічні характеристики біологічних тканин узяті з літературних джерел [211, 243, 264], а штучні матеріали — згідно з технічними характеристиками [264]. Механічні характеристики матеріалів, які використовували в розрахунках, наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

**Механічні характеристики матеріалів,  
використаних під час моделювання**

Матеріал	Модуль Юнга (E), МПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$
Кіркова кістка [3]	18 400	0,3
Губчаста кістка [3]	1 040	0,3
Хрящова тканина [4]	5,58	0,45
Зв'язки [5]	330	0,40
Лавсан [6]	6 000	0,34

З огляду на те, що максимальне динамічне навантаження на схрещені зв'язки КС виникає під впливом вертикального навантаження в положенні згинання під кутом  $135^\circ$ , модель випробовували саме в цій позиції. У такому положенні схрещені зв'язки беруть на себе найбільшу частку навантаження, яке припадає на ЗКА КС під час руху руху [160]. Схему навантаження моделі наведено на рис. 2.9.

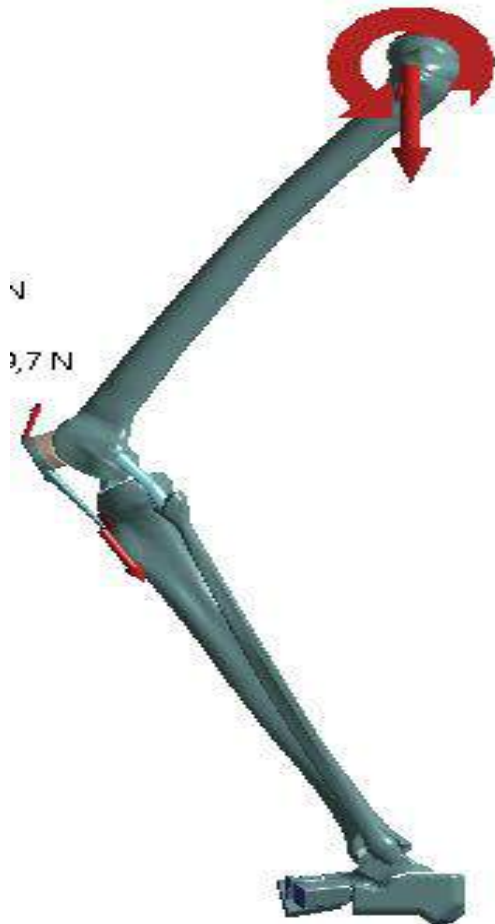


Рис. 2.9. Схема навантаження моделей яка відображає положення кінцівки, коли максимальний відсоток навантаження припадає на схрещені зв'язки. Стрілками вказано вектори дії навантаження

До головки стегна прикладали навантаження величиною 270 Н, що відповідає середній вазі тіла 10-річної дитини без урахування ваги опорної кінцівки [100], а також крутний момент величиною 104,3 Нм, а до наколінка прикладали рівнодіючу силу м'язів розгиначів стегна величиною 1080 Н. Величини крутного моменту та рівнодіючої сили розгиначів стегна визначали за допомогою математичної моделі, розробленої в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України» [272, 271].

Для порівняння величин напружень у різних моделях були обрані контрольні точки, схема розташування яких наведена на рис. 2.10. Перелік контрольних точок та зон їх розташування наведено в табл. 2.6.

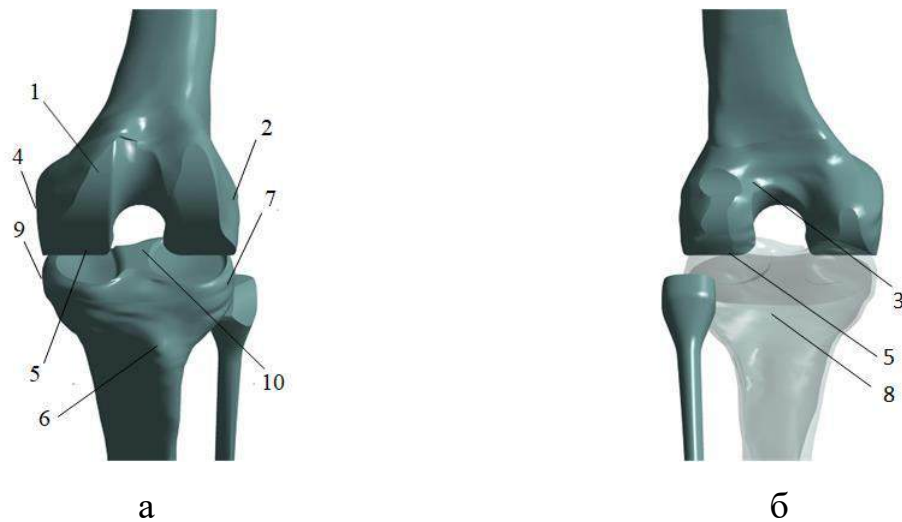


Рис. 2.10. Схема розташування контрольних точок вимірювання, вигляд: а – спереду; б – ззаду

Таблиця 2.6

**Перелік контрольних точок вимірювання та зон їх розташування**

Контрольні точки	Анатомічне розташування контрольної точки	
1	стегнова кістка	передня поверхня дистального відділу
2		латеральна поверхня дистального відділу
3		МЯСК
4		медіальна поверхня дистального відділу
5		нижня поверхня дистального відділу
6	великогомілкова кістка	горбистість
7		латеральна поверхня проксимального відділу
8		задня поверхня плато
9		медіальна поверхня проксимального відділу
10		міжвиросткове підвищення
зв'язки		латеральна
		медіальна
		передня схрещена/порція спереду
		задня схрещена /порція ззаду

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою методу кінцевих елементів. Як критерій визначення напруженого стану моделей використовували напруження за Мізесом [100].

Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проєктування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей здійснювали за допомогою програмного комплексу CosmosM.

## **2.5. Ретроспективний аналіз наявного клінічного матеріалу для виявлення слабких сторін і недоліків відомих методик ПСКС**

На основі проведеного аналізу літератури та встановленої інформації про недоліки операції SUPER knee за D. Paley нами проведено ретроспективне дослідження клінічних випадків вроджених вад розвитку кінцівки що перебували на лікуванні в ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» протягом 2008 – 2019 років із метою пошуку випадків, які підпадають під тему дисертаційного дослідження, а саме з наявною ВПВРНК, яка включає в себе вроджену гіпоплазію стегнової кістки (CFD) та фібулярну гемімелію (FH). Аналіз включав 247 архівних історій хвороб і дозволив ідентифікувати 33 випадки, які відповідали критеріям ВПВРНК, що забезпечило об'єктивну вибірку для дослідження проявів НКС та методик її корекції. У всіх випадках проаналізовано наявність супутньої НКС, а також типи, результати й ускладнення оперативних втручань, включно з методиками корекції НКС.

Особливу увагу було приділено характеристиці супутньої патології, типам оперативного втручання, його ускладненням та реабілітаційним показникам, що дозволило провести комплексне оцінювання ефективності сучасних методик лікування. Отримані результати стали основою для подальшої розробки вдосконалених підходів до хірургічної корекції НКС у пацієнтів із ВПВРНК, що сприятиме покращенню функціональних результатів та зниженню ризику ускладнень.

## 2.6. Клінічна оцінка ефективності розроблених покращень до лікування НКС за ВПВРНК

Після завершення підготовчих етапів проведено проспективне дослідження пацієнтів, які перебували під спостереженням та отримували лікування у 2019–2024 рр., а також порівняно з проаналізованою ретроспективною контрольною групою (2008–2019 рр.).

У межах цієї роботи проаналізовано ефективність ПСКС у 45 дітей (група А, розподілена на підгрупи А<sub>1</sub> (19 дітей) й А<sub>2</sub> (26 осіб)) та 19 дітей (група Б), які обрали консервативне лікування НКС за ВПВРНК (2008–2024 рр.). У другому дослідженні порівнювали результати лікування 19 дітей, яким у 2008–2019 рр. виконували «класичну» операцію SUPER knee [48, 181] (група А<sub>1</sub>), та 26 осіб, яким у 2019–2024 рр. застосовували вдосконалені методики ПСКС і розроблену реабілітаційну програму (група А<sub>2</sub>). Розподіл дітей за групами відображено в таблиці 2.7.

*Таблиця 2.7*

### Розподілення пацієнтів за групами

Група	Пацієнти
А1 ( класичну операцію SUPER knee)	19
А2 (лікування за вдосконаленою методикою ПСКС та після програми реабілітаційного лікування)	26
Б (консервативне лікування)	19
Загальна кількість пацієнтів у дослідженні	64

Для об'єктивізації стану колінних суглобів у дітей, залучених до дослідження, проводили анкетування за шкалою Pedi-IKDC. Оскільки раніше української адаптації цього опитувальника не існувало, оцінити стан хворих групи А<sub>1</sub> і більшості групи Б «до» лікування виявилось неможливим (анкетування стали застосовувати лише із 2020 р.) [256]. Тому для цих пацієнтів дані Pedi-IKDC використовували переважно під час контрольних оглядів. У

групі А<sub>2</sub> опитувальник застосовували як до, так і після лікування й реабілітації, що дозволило виявити динаміку показників у середині групи. Зважаючи на те, що у дітей із ВПВРНК у процесі лікування зазвичай виконують низку етапних оперативних втручань для корекції довжини кінцівки, анкетування проводили між цими етапами, щоб результати Pedi-IKDC стосувалися стану КС безпосередньо перед ПСКС та після неї.

Усім учасникам дослідження проводили ультразвукову діагностику обох колінних суглобів (TOSHIBA Aplio 500, TUS-A500) аби виявити ваду LGS. Обстеження виконувалося досвідченим лікарем ультразвукової діагностики [ 8, 78, 80, 82, 121, 140, 164, 189, 196, 219, 225, 236, 237, 245, 246, 259].

Також усі пацієнти проходили електронейроміографічне (ЕНМГ) обстеження м'язів обох НК (НЕЙРО-МВП-8, Neurosoft) для виявлення змін у м'язовій активності за НКС та характеру м'язової відповіді на лікування. Аналіз здійснювали за турно-амплітудним методом, а результати виражали у відсотках різниці між ураженою й здоровою кінцівкою. Серед досліджуваних параметрів:

Параметр 1 – Макс. ампл., мкВ (максимальна амплітуда, мікрівольти) – це найбільша амплітуда електричного сигналу, зареєстрованого під час дослідження. Вказує максимальну силу електричної активності м'яза.

Параметр 2 – Середн. ампл., мкВ (середня амплітуда, мікрівольти) – це середнє значення амплітуд електричних сигналів, зареєстрованих під час дослідження. Вона дає уявлення про загальну активність м'яза.

Параметр 3 – Сум. ампл., мВ/с (сумарна амплітуда, мілівольти за секунду) – це загальна амплітуда електричних сигналів, зареєстрованих за одиницю часу. Вона відображає загальну електричну активність м'яза за певний період.

Параметр 4 – Середн. част., 1/с (середня частота, герци) – це середня частота електричних сигналів, зареєстрованих під час дослідження. Вона показує, як часто виникають електричні імпульси в м'язі.

Параметр 5 – Ампл./част., мкВ/с (амплітуда на частоту, мікрівольти на секунду) – це відношення амплітуди до частоти електричних сигналів. Вона дає уявлення про ефективність передавання електричних імпульсів у м'язі [259].

Крім того, клінічно визначали передньо-задню стабільність колінного суглоба (проба «висувної шухляди»), а за наявності НКС ступінь зміщення оцінювали проєкційно за допомогою фотографування суглоба на відстані 1 м та на точці максимального зміщення на фотокамеру Apple iPhone 11 з використанням калібрування в AutoCAD2021® лінійки програми до лінійки прикладеної до стегна під час фотографування (рис. 2.8). Ступінь зміщення виміряли в міліметрах. Тест Лахмана (pivot-shift, тест Макінтоша) не застосовували через неможливість точних візуальних вимірів амплітуди зсуву [113, 281, 282].

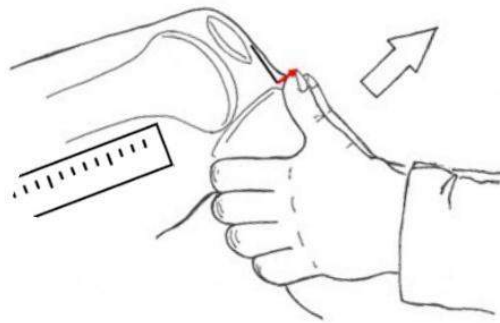


Рис. 2.8. Схема проведення тесту передньої висувної шухляди та вимірювання ступеня зміщення гомілки. Червоним відмічено величину зміщення яке вимірювалося

Проведено аналіз даних історій хвороб пацієнтів яким було виконано ПСКС. Для подальшого розгляду відібрані наступні дані: тривалість оперативного втручання та перебування в післяопераційному періоді в стаціонарі, наявність післяопераційних ускладнень.

Окрім функціонального оцінювання, проаналізовано дані історій хвороб пацієнтів, яким виконували реконструктивне ПСКС, урахувавши тривалість операції, терміни стаціонарного лікування та випадки післяопераційних ускладнень. Усі пацієнти (або їх офіційні представники) підписали інформовану згоду на проведення операції з внесеними змінами.

Для обробки матеріалів використано програмне забезпечення Myrian®, AutoCAD2021®, Microsoft Excel®. Одержані статистичні показники порівнювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

## **Резюме до розділу 2**

У цьому розділі описано матеріали та методи, які були використані в дисертаційному дослідженні, а також наведено загальну характеристику чотирьох складових наукової програми, результати якої детально висвітлено в наступних. Перші три дослідження спрямовані на вдосконалення діагностичного інструментарію й методологічного підґрунтя для вивчення нестабільності колінного суглоба за вроджених вадах розвитку нижньої кінцівки.

1. Валідація української версії Pedi-IKDC, під час якої проаналізовано 150 пацієнтів і 250 анкет.

2. Визначення параметрів норми МЯСК у дітей різних вікових груп за допомогою рентгенографії колінного суглоба у проекції «тонелю» (за методикою Холмблада) з подальшою кореляцією результатів із даними КТ і МРТ.

3. Біомеханічне дослідження, в якому створено три моделі КС: умовна «норма», ВПВРНК із НКС та КС після операції SUPER knee за D. Paley. Мета – визначити розподіл напружень і деформацій зв'язкового апарата.

Четверте дослідження передбачало клінічну оцінку ефективності різних підходів до лікування НКС за ВПВРНК (консервативні та хірургічні методи, вдосконалена техніка ПСКС, реабілітаційна програма). Під час вивчення результатів застосовували клінічні тести, анкетування за Pedi-IKDC, рентгенодіагностику (з аналізом параметрів МЯСК), ультразвукове дослідження та ЕНМГ. Сформована для цих цілей основна клінічна група спостереження налічувала 64 дитини віком від 2 до 18 років, у яких діагностовано НКС на тлі ВПВРНК.

Матеріали розділу 2 подані в наступних публікаціях

1. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky, M., & Yaresko, O. (2022). Mathematical modeling of the stress-strain state of the knee joint model with aplasia of the cruciate ligaments and after restoration of the ligamentous apparatus. *Paediatric Surgery (Ukraine)*, № 4(77), 75-83. doi <https://doi.org/10.15574/PS.2022.77.75>.
2. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky M., & Yaresko O. (2022). Study of relative deformations of the ligamentous apparatus of the knee joint in case of aplasia of the cruciate ligaments and after their restoration (mathematical modeling). *Trauma*, 23(5), 12–18. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.5.23.2022.911>.
3. Yakushkin, Y., Katsalap, Y., & Khmyzov, S. (2023). Validation of Pedi-IKDC scale and intercultural adaptation to Ukrainian language. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3-4), 97-101. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-497-101>.
4. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Zlatnik, R. (2024). Parameters of the intercondylar fossa of the femur in children in normal conditions and with congenital malformations of the lower limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2, 61–68. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024261-68>.
5. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 4, 41–47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

### РОЗДІЛ 3.

## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ ТА ВАЛІДАЦІЇ УКРАЇНОМОВНОГО ОПИТУВАЛЬНИКА PEDI-İKDC

Відповідно до матеріалу, наведеного в підрозділі 2.2, нами було створено україномовний варіант опитувальника PEDI-İKDC та проведено його валідацію. Під час двоетапного валідаційного дослідження заповнено та опрацьовано 250 анкет, отриманих у результаті опитування 150 дітей.

На першому етапі опрацьовано 50 анкет, дані порівнювалися з результатами дослідження А.У. Nasreddine [163]. Показники отримані нами під час опитування за допомогою створеної нами україномовної PEDI-İKDC 50 дітей з достатнім володінням української мови без патології КС і відповідні дані для порівняння отримані під час опитування за допомогою оригінальної англійської PEDI-İKDC серед 1 921 дітей із достатнім володінням англійською мовою без патології КС висвітлено в таблиці 3.1.

*Таблиця 3.1*

### Порівняння результатів україномовного варіанта із результатами оригінального PEDI-İKDC

Параметри порівняння	Результати дослідження PEDI-İKDC	
	україномовної версії	оригінального варіанта
Кількість учасників	50	1 921
середнє арифметичне за виборкою	86,6	87,4
стандартне відхилення	7,2	16,3
помилка репрезентативності	1,01	0,37

Для аналізу статистичної достовірності отриманих результатів, застосовано непарний t-критерій Стьюдента. На основі підрахунків t-критерій дорівнював 0,04 за числа ступенів свободи  $f=1\ 969$  (критичне значення  $t=1,972$  за  $\alpha = 0,05$ ), що свідчить про статистичну незначущість ( $p=0,966362$ ) різниці

між результатами тестування оригінальної Pedi-IKDC і створеної нами україномовної Pedi-IKDC.

На другому етапі дослідження, із метою визначення чутливості створеного нами україномовного опитувальника Pedi-IKDC, проаналізовано результати опитування 100 дітей з патологією КС до початку лікування та через 5 місяців після його завершення. Загалом опрацьовано 200 анкет. Середні значення отриманих результатів наведено в таблиці 3.2.

*Таблиця 3.2*

**Результати середніх значень під час визначення чутливості  
україномовного опитувальника Pedi-IKDC**

Параметри порівняння	Показник	
	до проведення лікування	через 5 міс. після завершення
Кількість учасників	100	100
Середнє арифметичне по виборці	46,226	89,092
Стандартне відхилення	9,280	7,357
Помилка репрезентативності	0,928	0,736

Для оцінювання статистичної значущості різниці результатів анкетування одних і тих самих пацієнтів із патологією колінного суглоба до та після хірургічного лікування застосовано парний t-критерій Стьюдента. Розрахунки показали, що він становив 36,165 за числа ступенів свободи  $f=99$  (критичне значення  $t=1,987$ ). Оскільки  $t_{\text{розрах}} > t_{\text{крит}}$ , різниця показників до та після лікування є статистично значущою ( $p=0,000$ ) [260]. Виявлена висока кореляція результатів дозволяє стверджувати про належну валідність та об'єктивність Pedi-IKDC для оцінювання стану пацієнтів із патологією КС.

### Резюме до розділу 3

Оцінювання функціонального стану пацієнтів є важливою складовою як консервативного, так і хірургічного лікування КС. Через відсутність в Україні стандартизованих опитувальників державною мовою, призначених для оцінювання стану КС у дітей, нами розроблено україномовну версію опитувальника Pedi-IKDC, оригінал якого широко використовується у світовій практиці. Проведене нами валідаційне дослідження підтвердило належну якість, відповідність міжнародним стандартам і високу чутливість україномовної версії Pedi-IKDC. Статистичний аналіз не виявив значущих відмінностей між отриманими результатами і показниками аналогічних міжнародних досліджень. Таким чином, створена україномовна версія Pedi-IKDC може бути рекомендована для використання в клінічній практиці та наукових дослідженнях дітей із патологією колінного суглоба. Ця адаптація узгоджена з правовласником оригінального опитувальника Pedi-IKDC— Американським ортопедичним товариством спортивної медицини (AOSSM).

Матеріали розділу 3 наведені в наступних публікаціях

1. Yakushkin, Y., Katsalap, Y., & Khmyzov, S. (2023). Validation of Pedi-IKDC scale and intercultural adaptation to Ukrainian language. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3-4), 97-101. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-497-101>.

## **РОЗДІЛ 4.**

### **АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НОРМИ РЕНТГЕНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІЖВИРОСТКОВОЇ ЯМКИ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ В ДІТЕЙ РІЗНИХ ВІКОВИХ КАТЕГОРІЙ**

За допомогою матеріалів і методів, описаних у підрозділі 2.3, проведено інструментальне дослідження. В обох когортах здійснено вимірювання параметрів МЯСК із подальшим розрахунком зазначених індексів.

Результати статистичної обробки варіаційного ряду отриманих параметрів і розрахованих індексів, визначених під час аналізу рентгенографії стабільного КС, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

**Результати статистичної обробки розрахованих індексів,  
визначених під час рентгенографії стабільного КС**

Індекс	Вікова група	Спос- тере- ження (n)	Серед- ня ариф- метична (M)	Меді- -ана (Me)	Стан- дартне квадра- тичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефі- цієнт варіа- ції (Cv), %	Середня похибка середньої арифме- тичної (m)
С	I (2–3)	15	2,85	2,95	0,35	12,33	0,09
	II (3,5–5)	20	2,55	2,51	0,24	9,26	0,05
	III (6–7)	19	1,92	1,90	0,18	9,28	0,04
	IV (8–11)	37	1,48	1,43	0,38	25,49	0,06
	V (12–14)	25	0,90	0,89	0,23	25,76	0,05
	VI (15–18)	40	0,99	0,96	0,16	16,51	0,03
А	I (2–3)	15	0,37	0,36	0,03	7,49	0,01
	II (3,5–5)	20	0,38	0,37	0,06	15,21	0,01
	III (6–7)	19	0,34	0,34	0,02	6,66	0,01
	IV (8–11)	37	0,35	0,34	0,03	9,08	0,01
	V (12–14)	25	0,29	0,30	0,02	8,62	0,01
	VI (15–18)	40	0,30	0,31	0,03	10,17	0,00
В	I (2–3)	15	2,65	2,64	0,09	3,34	0,02
	II (3,5–5)	20	2,79	2,77	0,22	7,81	0,05
	III (6–7)	19	2,89	2,91	0,14	4,89	0,03
	IV (8–11)	37	2,84	2,89	0,28	10,50	0,05
	V (12–14)	25	3,40	3,33	0,30	8,62	0,01
	VI (15–18)	40	2,86	2,82	0,30	25,76	0,05

Показники статистичної обробки варіаційного ряду отриманих параметрів та розрахованих індексів, визначених під час аналізу результатів КТ досліджень стабільного КС, наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

**Результати статистичної обробки розрахованих індексів,  
визначених під час аналізу КТ стабільного КС**

Індекс	Вікова група	Спостереження (n)	Середня арифметична (M)	Медіана (Me)	Стандартне квадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт варіації (Cv), %	Середня похибка середньої арифметичної (m)
С	I (2–3)	9	2,65	2,84	0,44	16,59	0,16
	II (3,5–5)	9	2,60	2,87	0,49	18,65	0,17
	III (6–7)	11	1,37	1,37	0,24	17,17	0,07
	IV (8–11)	43	1,44	1,34	0,43	29,77	0,07
	V (12–14)	33	1,00	0,97	0,17	16,92	0,03
	VI (15–18)	29	0,99	0,94	0,18	17,87	0,03
А	I (2–3)	9	0,48	0,48	0,06	13,56	0,02
	II (3,5–5)	9	0,41	0,42	0,03	7,84	0,01
	III (6–7)	11	0,40	0,40	0,02	4,85	0,01
	IV (8–11)	43	0,41	0,40	0,05	11,69	0,01
	V (12–14)	33	0,36	0,36	0,06	15,44	0,01
	VI (15–18)	29	0,34	0,34	0,03	9,72	0,10
В	I (2–3)	9	2,10	2,04	0,28	13,38	0,10
	II (3,5–5)	9	2,39	2,36	0,18	7,70	0,07
	III (6–7)	11	2,46	2,46	0,12	18,65	0,17
	IV (8–11)	43	2,43	2,49	0,24	9,97	0,04
	V (12–14)	33	2,82	2,77	0,43	15,37	0,08
	VI (15–18)	9	2,10	2,04	0,28	13,38	0,1

Результати статистичної обробки варіаційного ряду отриманих параметрів і розрахованих індексів, визначених під час аналізу результатів МРТ досліджень стабільного КС, наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

**Результати статистичної обробки розрахованих індексів,  
визначених під час аналізі МРТ стабільного КС**

Індекс	Вікова група	Спос- тере- ження (n)	Серед ня афри- фме- тична (M)	Медіа на (Me)	Стан- дартне квадра- тичне відхилен ня ( $\sigma$ )	Коефі- цієнт варіації (Cv), %	Середня похибка середньої арифме- тичної (m)
С	I (2–3)	8	2,44	2,35	0,53	21,83	0,20
	II (3,5–5)	—	—	—	—	—	—
	III (6–7)	—	—	—	—	—	—
	IV (8–11)	10	1,02	1,02	0,16	15,52	0,05
	V (12–14)	5	1,03	1,06	0,10	9,34	0,05
	VI (15–18)	9	0,91	0,91	0,07	8,31	0,03
А	I (2–3)	8	0,44	0,44	0,07	15,57	0,03
	II (3,5–5)	—	—	—	—	—	—
	III (6–7)	—	—	—	—	—	—
	IV (8–11)	10	0,39	0,39	0,05	13,02	0,02
	V (12–14)	5	0,35	0,37	0,03	8,62	0,02
	VI (15–18)	9	0,35	0,36	0,04	11,08	0,01
В	I (2–3)	8	2,29	2,35	0,34	14,90	0,13
	II (3,5–5)	—	—	—	—	—	—
	III (6–7)	—	—	—	—	—	—
	IV (8–11)	10	2,58	2,51	0,36	13,91	0,12
	V (12–14)	5	2,81	2,67	0,25	9,05	0,13
	VI (15–18)	9	2,84	2,73	0,32	11,16	0,11

Із метою визначення кількісних характеристик і порівняння значень отриманих індексів у дітей зі стабільними КС за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) побудовано порівняльні графіки.

На рисунку 4.1 зображено графік співвідношення показнику індексу А отриманого за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) стабільних КС по кожній віковій категорії, згідно якого видно, що параметри індексу А при різних візуалізаційних дослідженнях знаходяться в одному числовому діапазоні та не суперечать один одному в одній віковій групі.

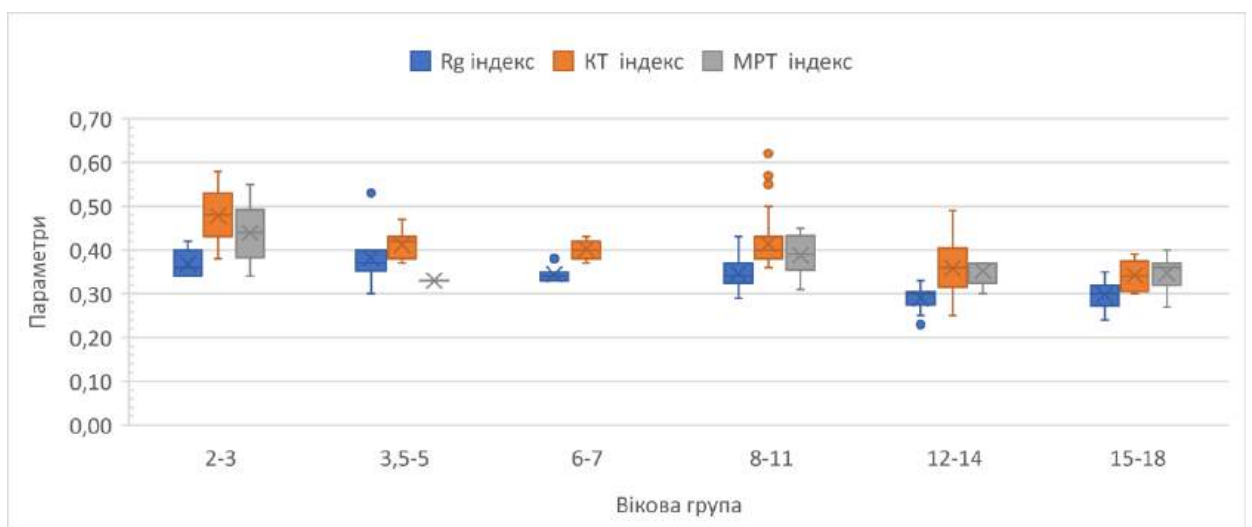


Рис. 4.1. Графік порівняння співвідношення ширини МЯСК до ширини виростків стегнової кістки (Індекс А). Пояснення в тексті

На рисунку 4.2 зображено графік співвідношення показнику індексу В отриманого за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) стабільних КС по кожній віковій категорії, згідно якого видно, що параметри індексу В при різних візуалізаційних дослідженнях знаходяться в одному числовому діапазоні та не суперечать один одному.

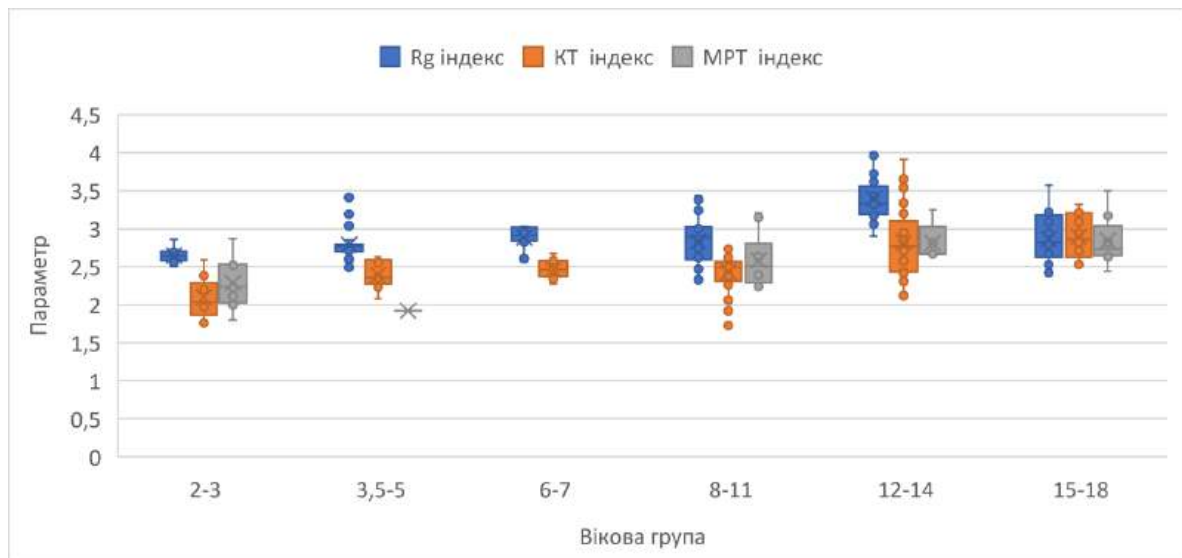


Рис. 4.2. Графік порівняння співвідношення ширини МЯСК до ширини виростків стегнової кістки (Індекс V). Пояснення в тексті

На рисунку 4.3 зображено графік співвідношення показнику індексу С отриманого за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) стабільних КС по кожній віковій категорії, згідно якого видно, що параметри індексу С при різних візуалізаційних дослідженнях знаходяться в одному числовому діапазоні та не суперечать один одному.

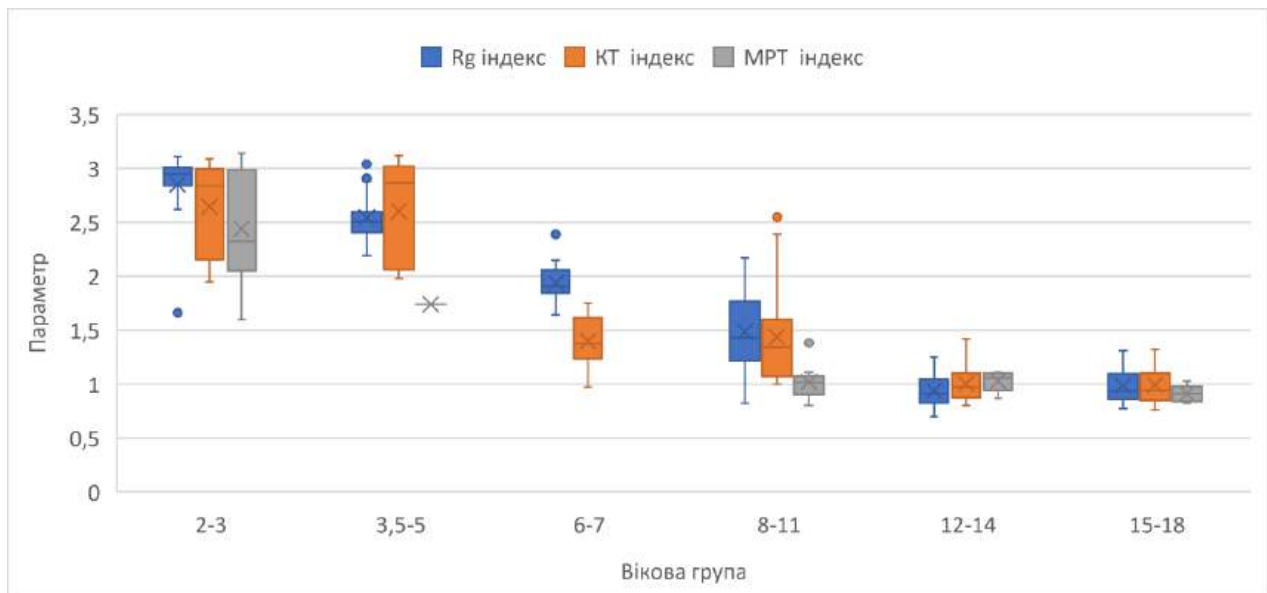


Рис. 4.3. Графік порівняння співвідношення ширини МЯСК до ширини виростків стегнової кістки (Індекс С). Пояснення в тексті

Для визначення статистичної значущості різниці між параметрами, отриманими за допомогою рентгенографії порівняно з результатами КТ та МРТ, застосовувався t-критерій Стьюдента. Аналіз отриманих даних не виявив статистично значущих розбіжностей між зазначеними методами. Зокрема, при порівнянні індексу С було отримано такі результати:  $t = 1,18$  при  $p = 0,24282$  та числі ступенів свободи  $f = 67$ , що є нижчим за критичне значення  $t(1,997)$  при  $\alpha = 0,05$ .

З огляду на відсутність статистично значущих відмінностей між результатами різних методів інструментальної візуалізації МЯСК, було проведено узагальнення отриманих даних за віковими групами та досліджуваними індексами. Результати статистичної обробки варіаційних рядів параметрів і розрахованих індексів, отриманих під час аналізу досліджень стабільних КС, представлено у таблиці 4.4

**Узагальнені результати статистичної обробки розрахованих індексів  
стабільного КС**

Індекс	Вікова група	Кількість спостережень (n)	Середня арифметична (M)	Медіана (Me)	Стандартне квадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт варіації (Cv), %	Середня похибка середньої Арифметичної (m)
С	I (2–3)	32	2,69	2,87	0,44	16,31	0,08
	II (3,5–5)	30	2,54	2,51	0,35	13,69	0,06
	III (6–7)	30	1,72	1,79	0,33	19,13	0,06
	IV (8–11)	90	1,41	1,34	0,41	29,05	0,04
	V (12–14)	63	0,98	0,97	0,15	15,79	0,02
	VI (15–18)	78	0,98	0,93	0,16	16,44	0,02
А	I (2–3)	32	0,42	0,40	0,07	16,43	0,01
	II (3,5–5)	30	0,39	0,38	0,05	13,43	0,01
	III (6–7)	30	0,37	0,35	0,03	9,02	0,01
	IV (8–11)	90	0,38	0,39	0,05	13,54	0,01
	V (12–14)	63	0,33	0,32	0,05	16,53	0,01
	VI (15–18)	78	0,32	0,32	0,04	12,14	0,00
В	I (2–3)	32	2,40	2,55	0,33	13,61	0,06
	II (3,5–5)	30	2,64	2,70	0,30	11,35	0,05
	III (6–7)	30	2,73	2,80	0,24	8,91	0,04
	IV (8–11)	90	2,62	2,57	0,33	12,67	0,03
	V (12–14)	63	3,05	3,07	0,47	15,30	0,06
	VI (15–18)	78	2,87	2,82	0,29	10,07	0,03

Додатково проведено аналіз параметрів МЯСК із розрахунком відповідних індексів у випадках НКС на фоні ВПВРНК. Отримані результати було узагальнено та порівняно з аналогічними показниками стабільних колінних суглобів.

На рисунку 4.4 наведено графік порівняння індексу А, визначеного за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ), для стабільних КС і НКС за ВПВРНК у кожній віковій категорії. З графіка чітко видно, що значення індексу А в пацієнтів із НКС за ВПВРНК суттєво відрізняються від нормативних параметрів: ці показники не перетинаються з межами норми та мають або значно вищі, або нижчі значення у всіх вікових групах.

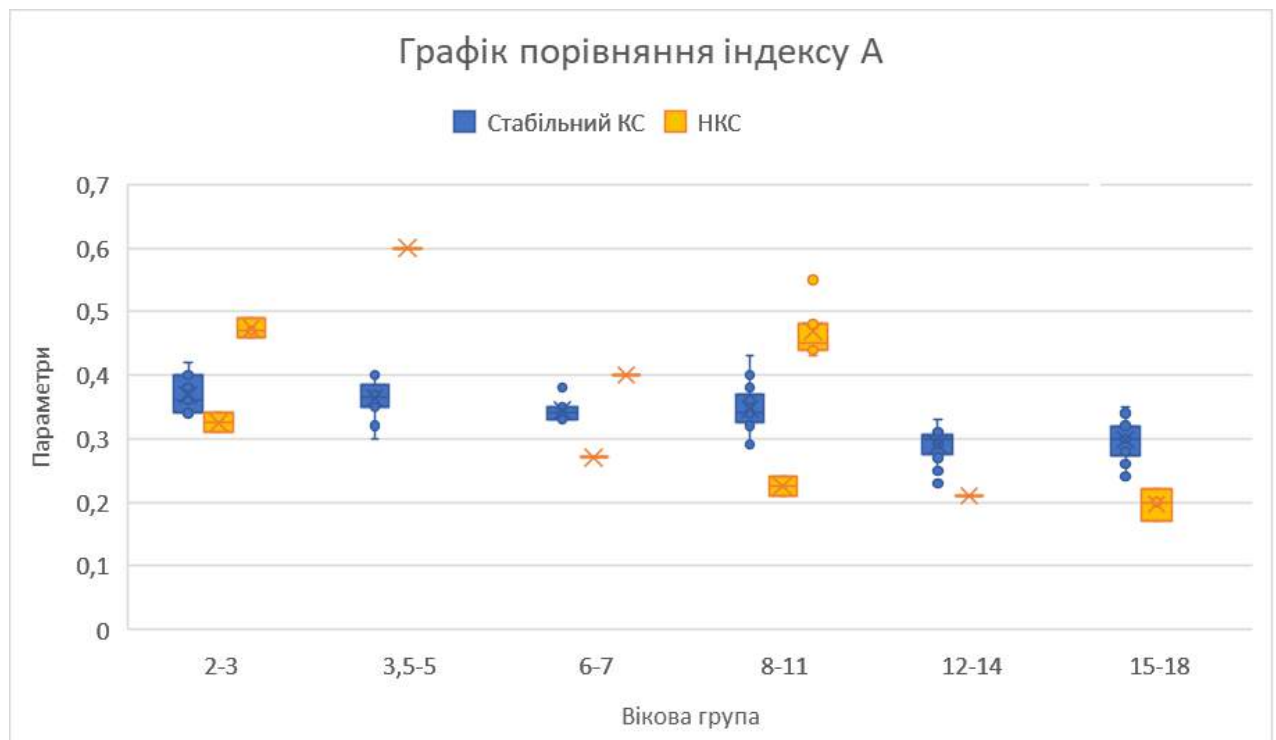


Рис. 4.4. Графік порівняння показника індексу А в різних вікових групах між параметрами норми та патології. Пояснення в тексті

На рисунку 4.5 наведено графік порівняння індексу В, визначеного за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) для стабільних КС та НКС за ВПВРНК у кожній віковій категорії. З графіка чітко видно, що значення індексу В у пацієнтів із НКС за ВПВРНК суттєво відрізняються від

нормативних параметрів: ці показники не перетинаються з межами норми та мають або значно вищі, або нижчі значення у всіх вікових групах.

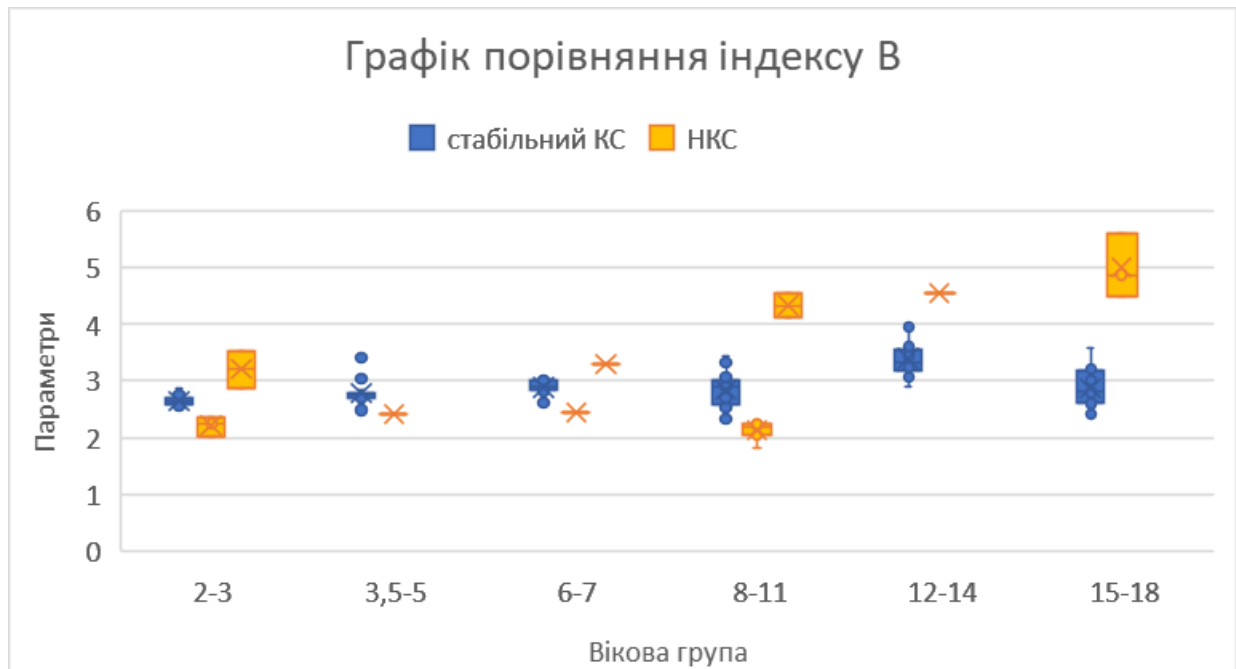


Рис. 4.5. Графік порівняння показника індексу В в різних вікових групах між параметрами норми та патології. Пояснення в тексті

На рисунку 4.6 наведено графік порівняння індексу С, визначеного за різними методами візуалізації (рентгенографія, КТ, МРТ) для стабільних КС і НКС за ВПВРНК у кожній віковій категорії. З графіка чітко видно, що значення індексу С у пацієнтів із НКС за ВПВРНК суттєво відрізняються від нормативних параметрів: ці показники не перетинаються з межами норми та мають або значно вищі, або нижчі значення у всіх вікових групах.

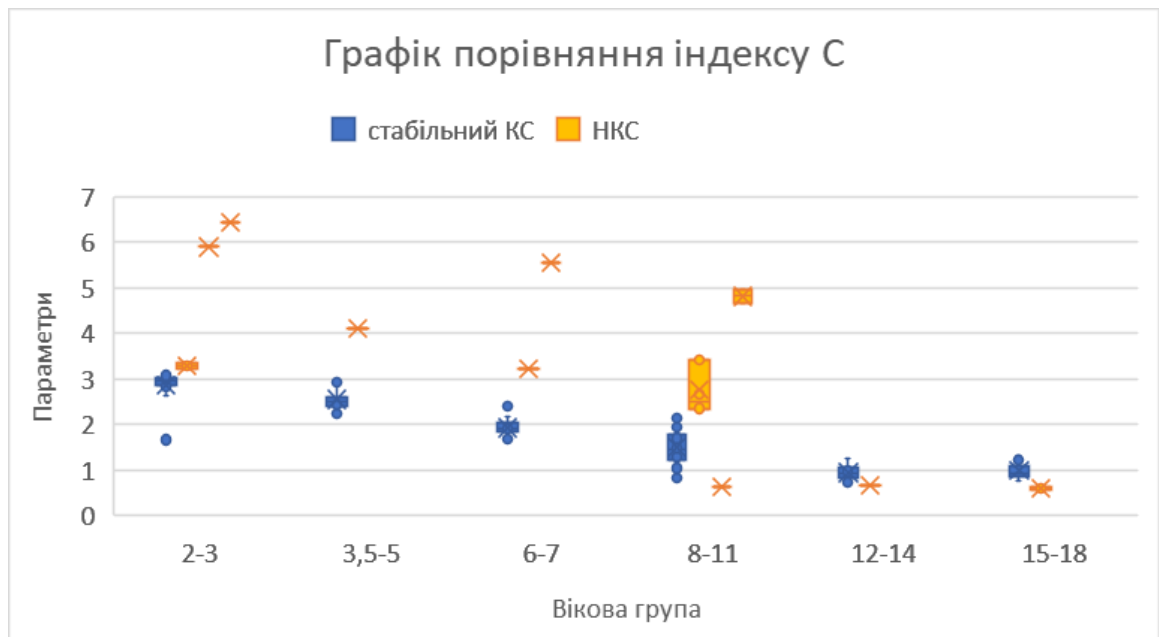


Рис. 4.6. Графік порівняння показника індексу С у різних вікових групах між параметрами норми та патології. Пояснення в тексті

За результатами проведеного діагностичного дослідження визначено рентгенологічні норми розвитку МЯСК у дітей різних вікових груп. Три обрані індекси (А, В, С) продемонстрували високу інформативність як для оцінювання параметрів МЯСК у нормі, так і за умов виявлення патологічних змін за наявності НКС за ВПВРНК. На нашу думку, найбільш оптимальним та інформативним є індекс С, який характеризує співвідношення ширини МЯСК до його глибини. Розраховані вікові нормативні параметри індексів наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

## Розраховані вікові нормативні параметри індексів МЯСК

Індекс	Вікова група	Параметр	Стандартне відхилення
С	I (2–3)	2,87	$\pm 0,44$
	II (3,5–5)	2,51	$\pm 0,35$
	III (6–7)	1,79	$\pm 0,33$
	IV (8–11)	1,34	$\pm 0,41$
	V (12–14)	0,97	$\pm 0,15$
	VI (15–18)	0,93	$\pm 0,16$
А	I (2–3)	0,40	$\pm 0,07$
	II (3,5–5)	0,38	$\pm 0,05$
	III (6–7)	0,35	$\pm 0,03$
	IV (8–11)	0,39	$\pm 0,05$
	V (12–14)	0,32	$\pm 0,05$
	VI (15–18)	0,32	$\pm 0,04$
В	I (2–3)	2,55	$\pm 0,33$
	II (3,5–5)	2,70	$\pm 0,30$
	III (6–7)	2,80	$\pm 0,24$
	IV (8–11)	2,57	$\pm 0,33$
	V (12–14)	3,07	$\pm 0,47$
	VI (15–18)	2,82	$\pm 0,29$

Приклад фотовідбитків рентгенограм КС у нормі (стабільні) у дітей різних вікових груп наведено на рисунку 4.7. Ці зображення наочно демонструють вікові особливості формування МЯСК.

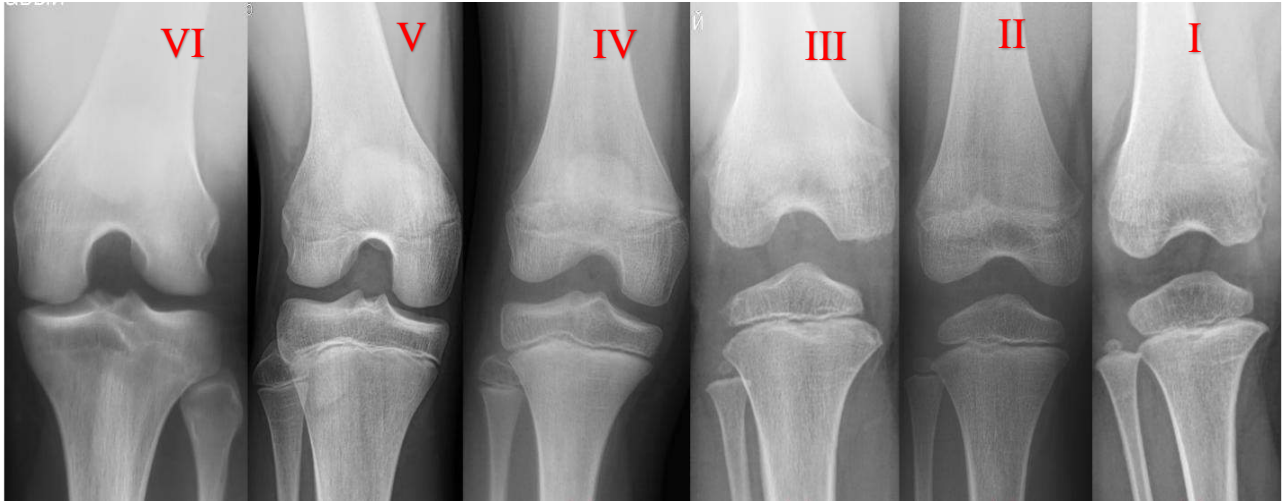


Рис. 4.7. Фотовідбитки рентгенограм здорових КС за віковими категоріями: VI (15–18р.), V (12–14р.), IV (8–11р.), III (6–7 р.), II (3,5–5р.), I (2–3р.)

Для наочного розуміння відмінностей у розвитку міжвиросткової ямки стегнової кістки між здоровими кінцівками та з нестабільністю колінного суглоба на фоні вроджених поздовжніх вад розвитку нижніх кінцівок наведено клінічні приклади. На рисунку 4.8 подані рентгенограми 14-річного пацієнта З. (Додаток Ж №38, історія хвороби №91376), у якого один колінний суглоб стабільний, а інший має НКС за ВПВРНК. Рисунок 4.9 демонструє аналогічний приклад у 7-річної дитини М. (Додаток Ж №1, історія хвороби №91648) . У наведених ілюстраціях чітко візуалізується суттєва різниця формування МЯСК.

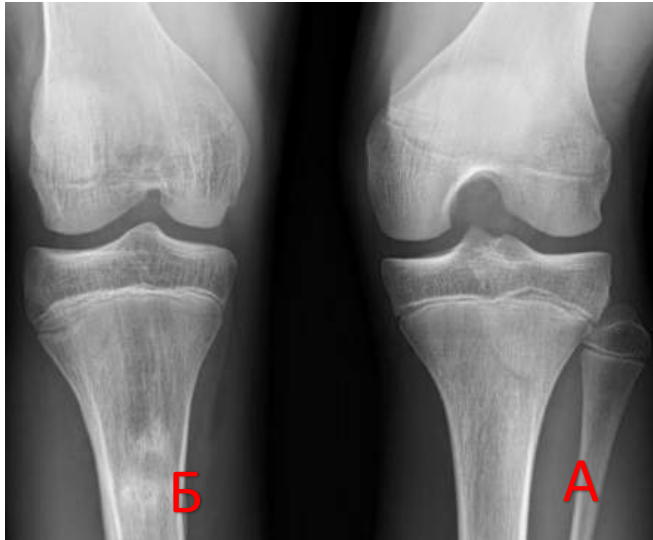


Рис. 4.8. Фото рентгенограм КС пацієнта З., 14 років (Додаток Ж №38, історія хвороби №91376): а) стабільний КС; б) нестабільний КС за ВВРНК

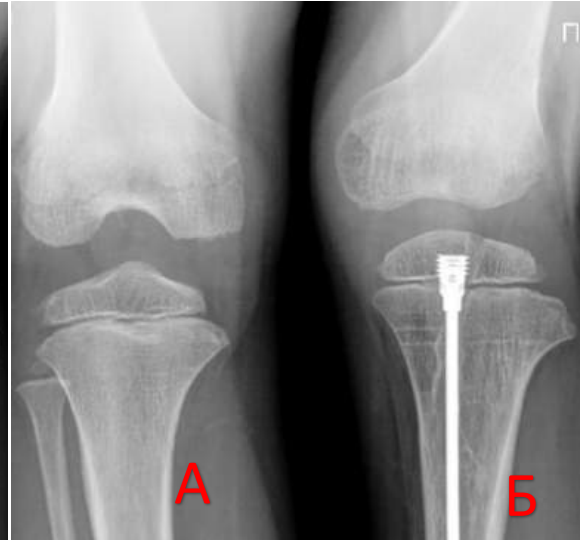


Рис. 4.9. Фото рентгенограм КС пацієнтки М., 7 років (Додаток Ж №1, історія хвороби №91648): а) стабільний КС; б) нестабільний КС за ВВРНК

Клінічний випадок. Пацієнт Л. (Додаток Ж №41, історія хвороби №96127). Під час первинного звернення у віці 4 роки встановлено попередній діагноз: «вроджена вада розвитку правої н/кінцівки, фібулярна геміmelія IIIc тип. Вальгусна деформація правої н/кінцівки на рівні колінного суглоба. Вкорочення правої н/кінцівки». У результаті початкового клінічного обстеження явної НКС не виявлено, проте рентгенографія засвідчила ознаки вади закладки LCG (рис. 4.10), що прогностично передбачало розвиток НКС. У плані лікування передбачалося виконання ПСКС як третього етапу – після корекції стопи та нижньої третини гомілкової кістки і першого етапу її подовження. У процесі корекції довжини гомілки нестабільність колінного суглоба почала наростати, проте фахівці та батьки до цього були готові. Наступним етапом було проведено хірургічну ПСКС, під час якої інтраопераційно виявлено агенезію LCG (рис. 4.11).

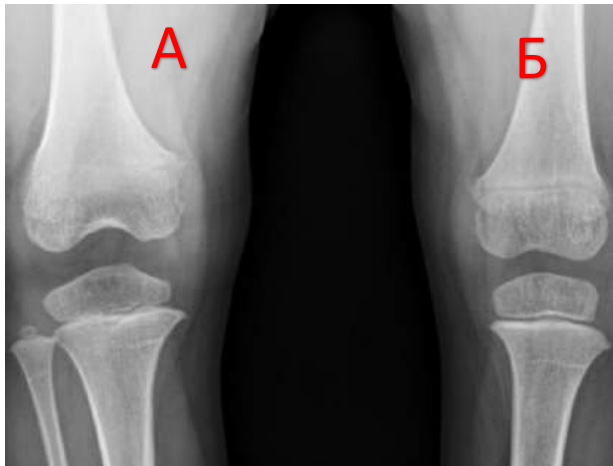


Рис. 4.10. Фотовідбитки рентгенограм КС пацієнта Л. (Додаток Ж №41, історія хвороби №96127), 4 роки: а) стабільний КС; б) нестабільний КС за ВВРНК



Рис. 4.11. Інтраопераційне зображення агенезії LCG у пацієнта Л. (Додаток Ж №41, історія хвороби №96127), який підтвердив попередні рентгенологічні результати. Стрілочкою вказано відсутність схрещених зв'язок у КС

#### Резюме до розділу 4

У межах проведеного діагностичного дослідження обстежено 358 КС у 217 дітей віком від 2 до 18 років, яких розподілено на дві основні когорти. Перша (90 дітей) проходила клінічне та рентгенографічне обстеження, а друга (127 дітей) охоплювала пацієнтів із архівними результатами КТ і МРТ. Усі учасники або їхні законні представники надали письмову інформовану згоду.

Пацієнтів розподілили на 6 вікових груп за класифікацією Садоф'євої. Для аналізу параметрів МЯСК використано методику Manner, адаптовану для дітей молодше 10 років через неможливість візуалізації підколінної борозни.

Для оцінки та порівняння параметрів МЯСК запропоновано систему індексів (А, В, С). За допомогою t-критерію Стьюдента встановлено відсутність статистично значущих розбіжностей між результатами рентгенографії, КТ і МРТ, що дозволило узагальнити отримані дані. На основі цього визначено рентгенологічні нормативні показники параметрів МЯСК для всіх вікових категорій.

Результати аналізу свідчать, що індекс С (співвідношення ширини МЯСК до глибини) є найбільш інформативним для вивчення стану МЯСК у дітей. Порівняльний аналіз також продемонстрував суттєві відмінності цього індексу між стабільними КС і випадками НКС за ВПВРНК. На клінічних прикладах підтверджено чіткі рентгенологічні відмінності між стабільними КС і НКС за ВПВРНК.

Отримані результати можуть бути використані в клінічній практиці для ранньої діагностики вродженої патології закладки LGS, прогнозування розвитку нестабільності КС та планування лікування дітей з ВПВРНК.

Матеріали розділу 4 наведені в наступних публікаціях

1. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Zlatnik, R. (2024). Parameters of the intercondylar fossa of the femur in children in normal conditions and with congenital malformations of the lower limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2, 61–68. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024261-68>.

## РОЗДІЛ 5.

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

#### 5.1. Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану моделі колінного суглоба в разі аплазії схрещених зв'язок і після відновлення зв'язкового апарата

Відповідно до мети дисертаційної роботи, зі застосуванням матеріалів і методів, наведених у підрозділі 2.4, отримано нижче наведені результати. За допомогою математичного моделювання встановлено характер розподілу напружень у моделях колінного суглоба. Це дозволило порівняти величини навантажень залежно від наявності патологічних змін та оцінити ефективність їх оперативної корекції. Досліджувався напружений стан кісткових елементів КС і ЗКА КС.

Аналізуючи рівень напружень у кісткових елементів моделей виявлено низку особливостей Моделі 2 та Моделі 3 порівняно з Моделлю 1, опис і пояснення яких наводиться нижче.

На рисунку 5.1 подано напружений стан стегнової кістки моделі НК без патології (Модель 1).

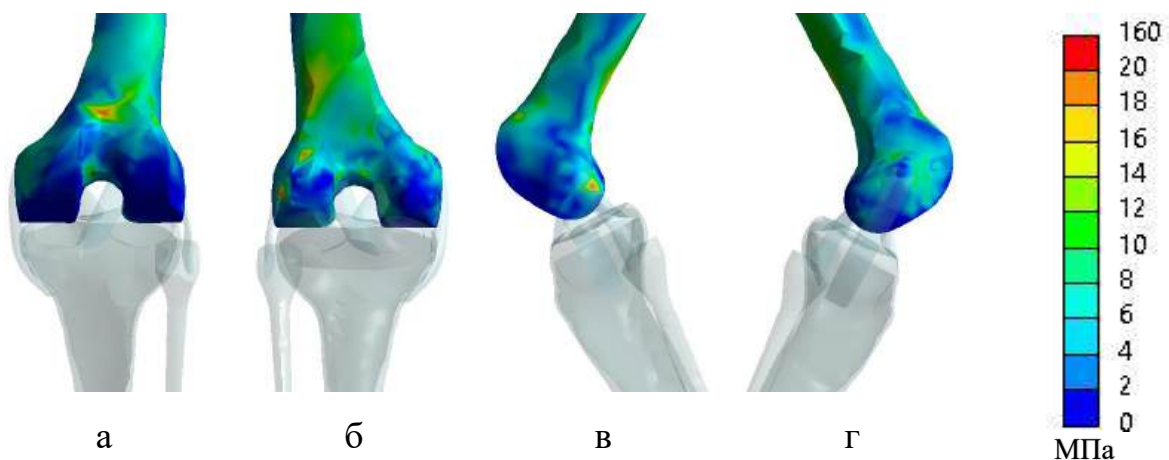


Рис. 5.1. Картина розподілу напружень у стегнової кістці в нормі (Модель 1), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Як бачимо, із рисунку 5.1 максимальний рівень напружень 12,2 МПа спостерігається як в задній частині стегнової кістки, так і спереду (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку), де він набуває значення 11,5 МПа. Найменш напруженими виявляються нижня частина та латеральний виросток – 5,6 та 5,4 МПа відповідно. Напруження на медіальному виростку визначаються на рівні 8,4 МПа.

Наявність аплазії LGC (Модель 2) здійснює негативний вплив на розподіл напружень у стегновій кістці. Цей стан відображає рисунок 5.2.

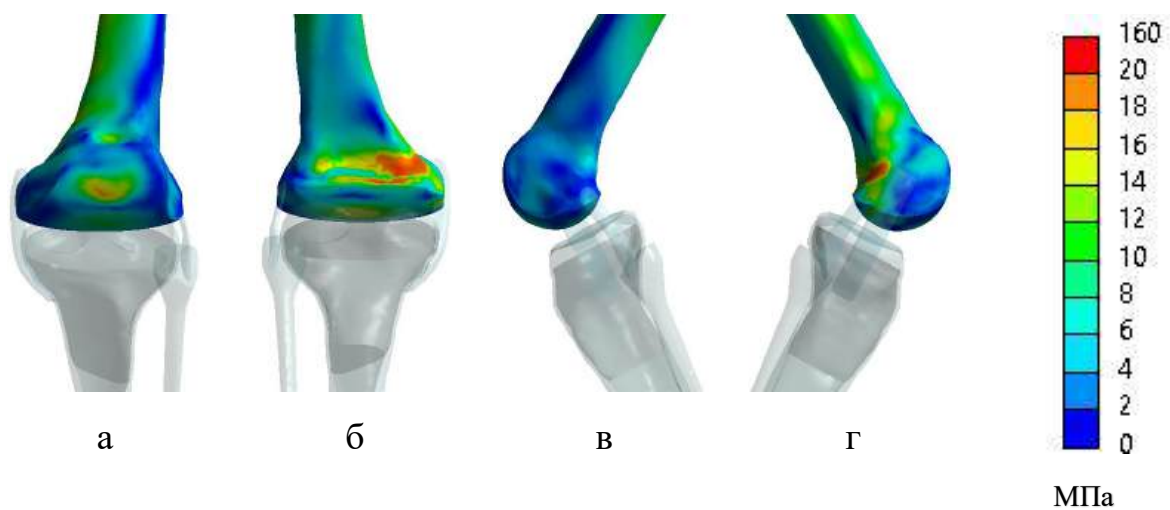


Рис. 5.2. Картина розподілу напружень у стегнової кістці в разі аплазії схрещених зв'язок (Модель 2), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Наявність аплазії LCG (Модель 2) призводить до підвищення в 3 рази рівня напружень у задній частині стегнової кістки до 39,4 МПа, спереду – до 18,6 МПа та в нижній частині до 16,3 МПа (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.2). Водночас із латерального та медіального боків виростків спостерігається незначне зниження рівня напружень до 5,0 та 7,3 МПа відповідно.

Виконання реконструктивно-відновлювального втручання за методикою SUPER knee за D. Paley позитивно впливає на розподіл напружень у стегновій

кістці. Картину розподілу напружень у стегнової кістці після відновлення зв'язкового апарата наведено на рисунку 5.3.

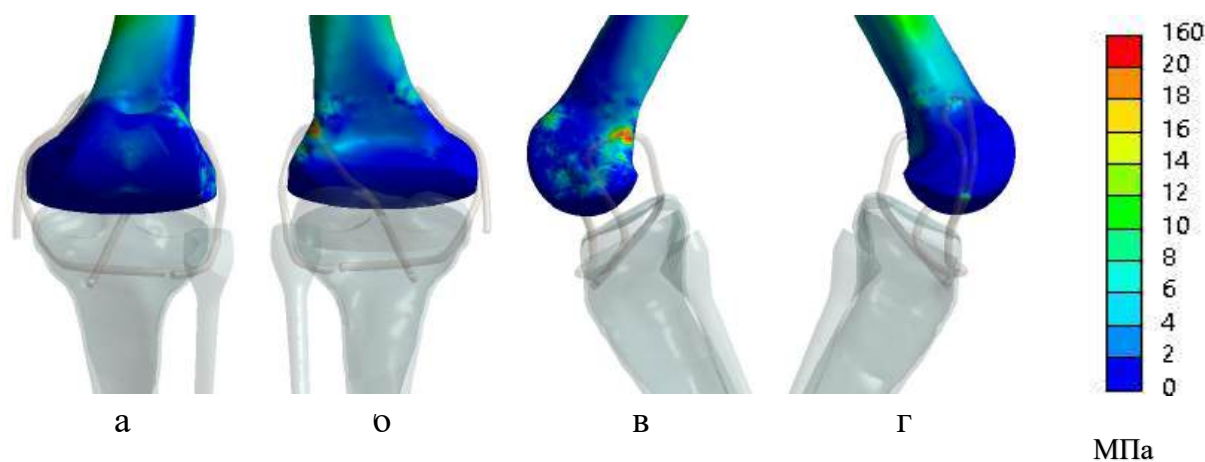


Рис. 5.3. Картина розподілу напружень у стегнової кістці після відновлення зв'язкового апарата за методикою SUPER knee за D. Paley (Модель 3), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Як показали результати моделювання, відновлення зв'язкового апарата КС з аплазією LGC веде до зниження величин напружень практично у всіх контрольних точках на стегновій кістці в патологічно зміненому КС і максимально приближує значення напружень до параметрів моделі нормального КС. Виняток складає латеральна поверхня дистального відділу стегнової кістки, де напруження знижуються в моделі з реконструкцією зв'язок порівняно з моделлю суглоба з аплазією зв'язок до 27,5 МПа (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.2), але залишаються значно вищими за модель суглоба в нормі.

Дані про величини напружень у контрольних точках на стегновій кістці всіх трьох моделей наведено в табл. 5.1.

### Значення параметрів напружень у стегновій кістці

№ з/п	Контрольна точка вимірювання напруження (дистальний відділ)	Напруження, МПа		
		Модель 1. НК без патології	Модель 2. НК з аплазією LGC	Модель 3. НК з аплазією LGC після SUPER knee
1	Передня поверхня	11,5	18,6	3,5
2	Латеральна поверхня	12,2	39,4	27,5
3	МЯСК	5,4	5,0	5,2
4	Медіальна поверхня	8,4	7,3	8,3
5	Нижня поверхня	5,6	16,3	1,2

Для зручності порівняння величин напружень у різних моделях побудовано діаграму, наведену на рис. 5.4. Подані результати чітко демонструють позитивний вплив реконструктивного втручання за методикою SUPER knee (D. Paley) на характер розподілу напружень у стегновій кістці. Зокрема, на діаграмі добре помітно, що в Моделі 2 суттєво збільшені величини напружень у контрольних точках: 1 (передня поверхня дистального відділу стегнової кістки), 2 (латеральна поверхня дистального відділу стегнової кістки) та 5 (нижня поверхня дистального відділу стегнової кістки). У моделі 3 ці параметри значно знижуються, що підтверджує ефективність операції SUPER knee з метою перерозподілу механічних навантажень на стегнову кістку за вродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки.

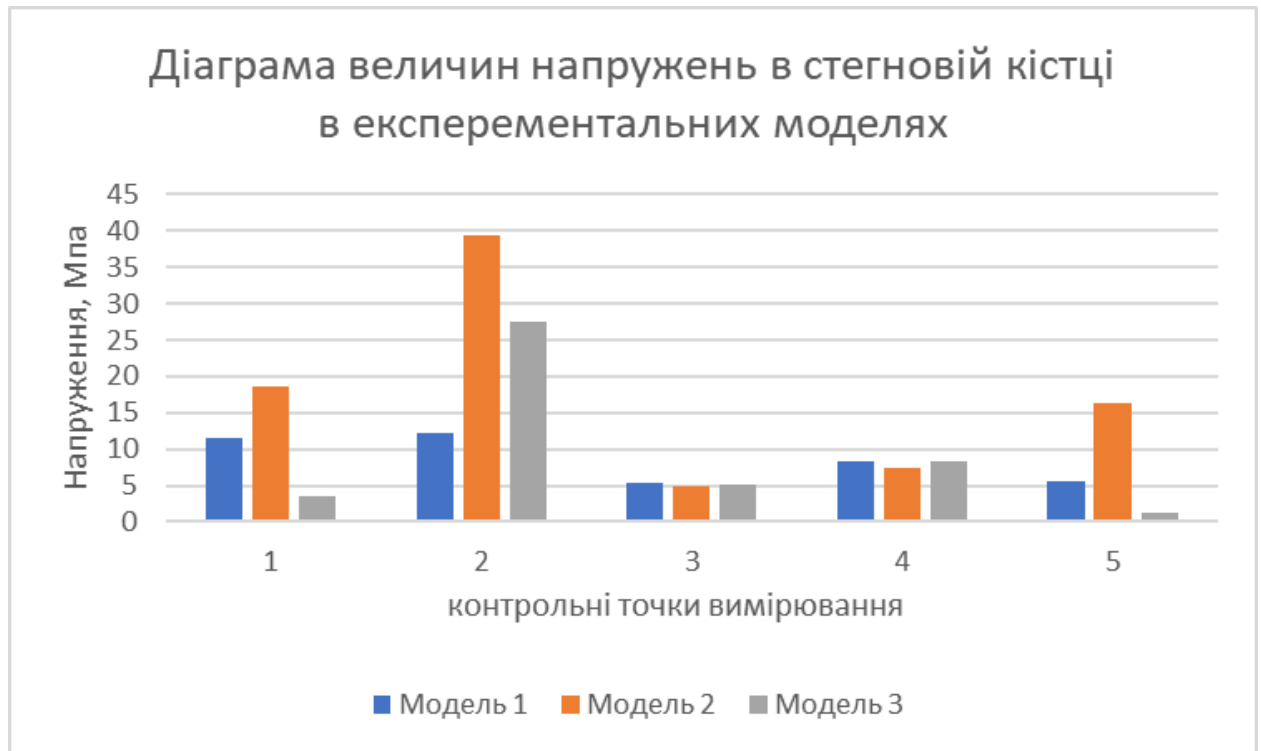


Рис. 5.4. Діаграма співвідношення величин напружень у стегновій кістці моделей; Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGS, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee; контрольні точки: 1 – передня поверхня дистального відділу стегнової кістки, 2 – латеральна поверхня дистального відділу стегнової кістки, 3 – МЯСК, 4 – медіальна поверхня дистального відділу стегнової кістки; 5 – нижня поверхня дистального відділу стегнової кістки. Пояснення діаграми в тексті

За результатами математичного моделювання встановлено, що за нормальної будови КС (Модель 1) максимальне напруження (10,2 МПа) припадає на горбистість великогомілкової кістки, що відповідає місцю прикріплення основного динамічного стабілізатора КС – чотириголового м'яза стегна, який є одночасно агоністом ACL. Тоді як мінімальне (2,2 МПа) реєструється на латеральній поверхні проксимального відділу великогомілкової кістки. Величина напружень на задній поверхні плато великогомілкової кістки становить 2,7 МПа, а на медіальній поверхні проксимального відділу великогомілкової кістки — 3,1 МПа. У ділянці міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки напруження сягає

6,5 МПа (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.5). Графічне відображення напружено-деформованого стану великогомілкової кістки в нормі (Модель 1) наведено на рис. 5.5.

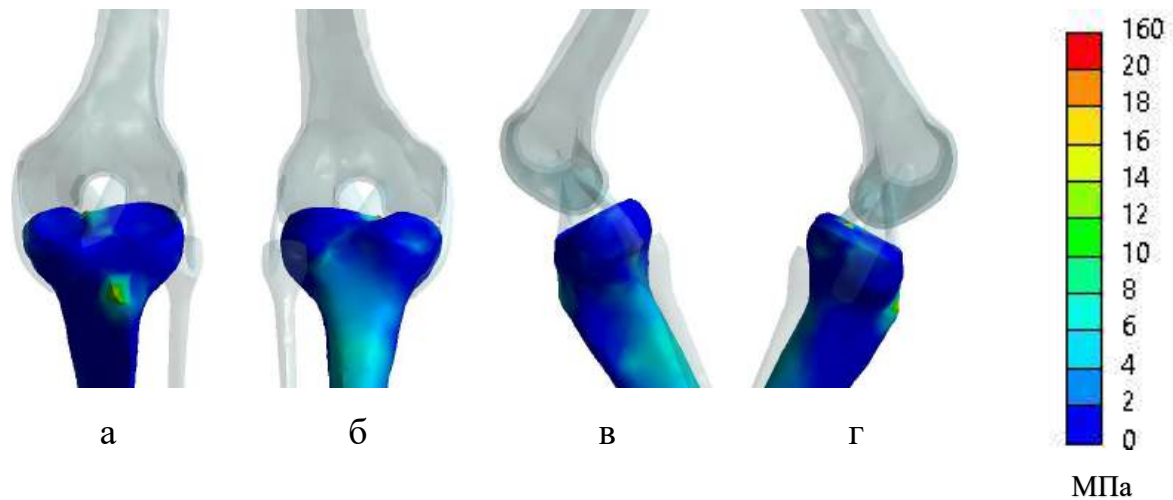


Рис. 5.5. Картина розподілу напружень у великогомілковій кістці в нормі (Модель 1), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Зміни напружено-деформованого стану моделі, зумовлені аплазією LGC, наведені на рис. 5.6. Встановлено, що аплазія LGC призводить до суттєвого підвищення рівня напружень у більшості контрольних точок моделі. Винятком є зона міжвиросткового підвищення великогомілкової кістки, де максимальна величина напружень знижується до 4,3 МПа. Це пояснюється тим, що LGC у нормі одним зі своїх місць кріплення має міжвиросткове підвищення, передаючи на нього додаткове навантаження. В інших точках Моделі напруження зростають у 2–4 рази порівняно з нормою. Найбільше напруження, що дорівнює 30,4 МПа, фіксується на горбистості великогомілкової кістки. Максимальне відносне підвищення напруження в 4 рази (до 10,4 МПа) (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.6) реєструється на задній поверхні плато великогомілкової кістки.

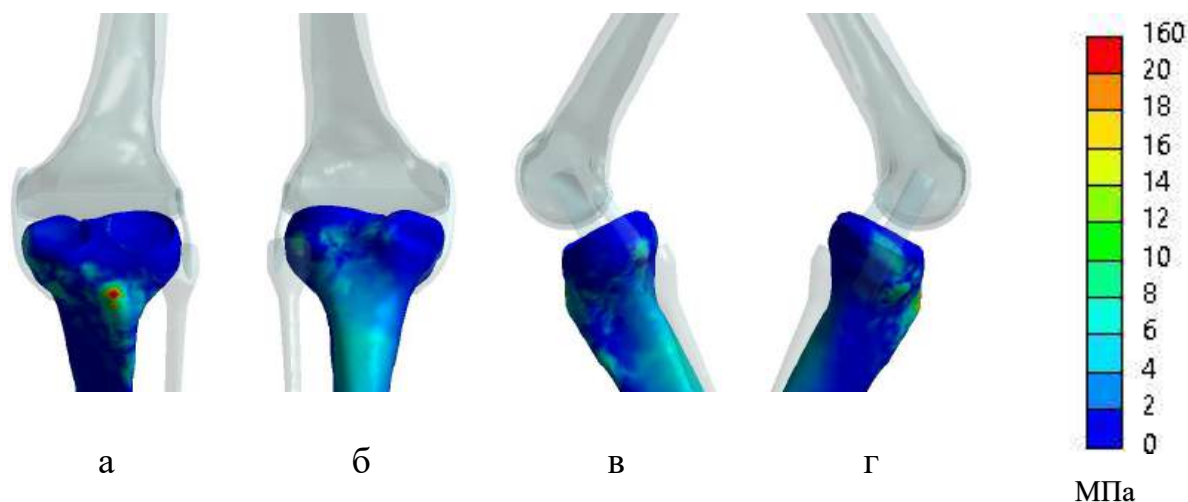


Рис. 5.6. Картина розподілу напружень у великогомілковій кістці в разі аплазії LCG (Модель 2), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Напружено-деформований стан великогомілкової кістки після відновлення зв'язкового апарата за методикою SUPER knee (D. Paley) наведено на рис. 5.7. Результати математичного моделювання показали, що реконструкція зв'язкового апарата за зазначеною методикою (Модель 3) дозволяє знизити рівень напружень у всіх контрольних точках у порівнянні з моделлю НК з агенезією LGC (Модель 2). Водночас ці величини залишаються вищими за показники моделі без патології НК (Моделі 1). Винятком є міжвиросткове підвищення великогомілкової кістки, де рівень напружень становить 4,8 МПа та залишається нижчим, ніж у Моделі 1 (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.7). Це також пояснюється відсутністю LGC, що зменшує навантаження на зазначену анатомічну ділянку.

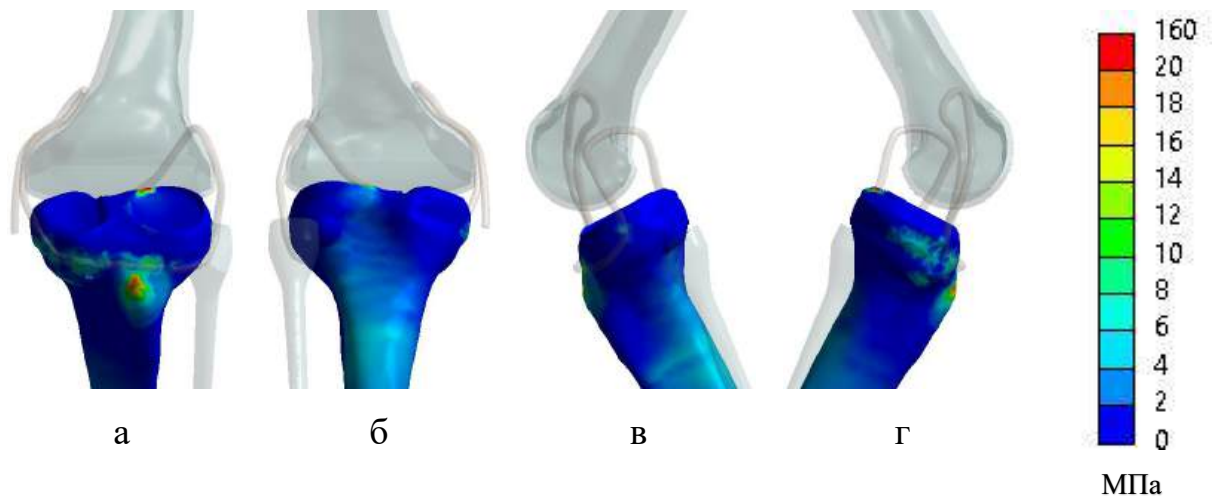


Рис. 5.7. Картина розподілу напружень у великоомілковій кістці після відновлення зв'язкового апарата за методикою SUPER knee за D. Paley (Модель 3), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Дані про величини напружень в контрольних точках на великоомілковій кістці всіх трьох моделей наведені таб. 5.2.

Таблиця 5.2

### Значення параметрів напружень у великоомілковій кістці

№ з/п	Контрольна точка вимірювання напруження	Напруження, МПа		
		Модель 1. НК без патології	Модель 2. НК з аплазією LGC	Модель 3. НК з аплазією LGC після SUPER knee
6	горбистість	10,2	20,4	14,0
7	латеральна поверхня проксимального відділу	2,2	6,0	14,3
8	задня поверхня плато	2,7	10,7	4,9
9	медіальна поверхня проксимального відділу	3,1	7,5	8,1
10	міжвиросткове підвищення	6,5	4,3	4,8

Для наочного порівняння величин напружень у контрольних точках великогомілкової кістки в різних моделях побудовано діаграму, яка наведена на рис. 5.8. Аналіз цієї діаграми свідчить, що відновлення зв'язкового апарата колінного суглоба за методикою SUPER knee (D. Paley) (Модель 3) дозволяє суттєво знизити рівень напружень у великогомілковій кістці порівняно з моделлю аплазії LGC (Модель 2). Водночас, отримані величини напружень залишаються вищими порівняно з моделлю НК без патології (Модель 1).

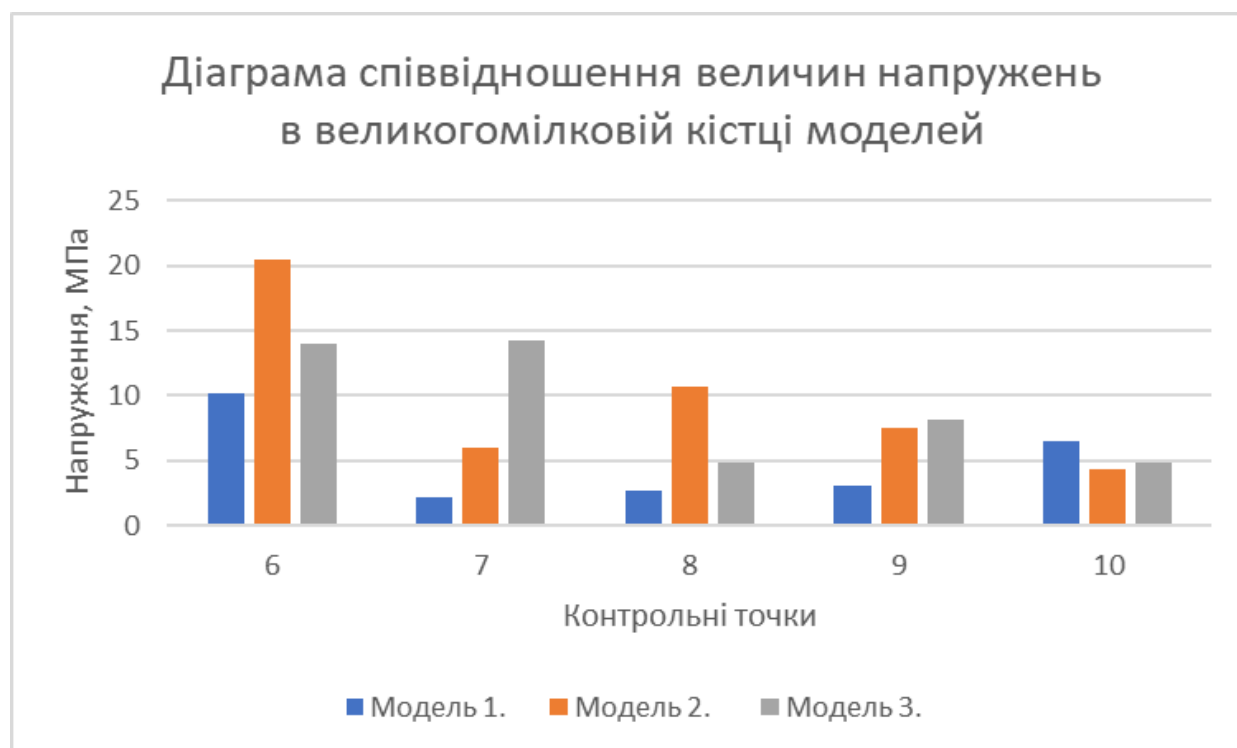


Рис. 5.8. Діаграма співвідношення величин напружень у великогомілковій кістці моделей; Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee; контрольні точки: 6 – горбистість великогомілкової кістки, 7 – латеральна поверхня проксимального відділу великогомілкової кістки, 8 – задня поверхня плато великогомілкової кістки, 9 – медіальна поверхня проксимального відділу великогомілкової кістки, 10 – міжвиросткове підвищення великогомілкової кістки. Пояснення в тексті

У межах проведеного дослідження особливий інтерес становить напружений стан елементів ЗКА КС. На рис. 5.9 наведено розподіл напружень

у зв'язках Моделі 1. За результатами математичного моделювання встановлено, що за умов нормальної анатомічної структури КС та обраного варіанта навантаження найбільші напруження реєструються у PCL, сягаючи 11,8 МПа. Напруження в ACL є удвічі нижчими та становлять не більше 5,3 МПа. Серед колатеральних зв'язок максимальні напруження визначаються в MCL на рівні 7,9 МПа, тоді як у LCL вони не перевищують 4,9 МПа (відповідна кольорова ідентифікація на рисунку 5.9).

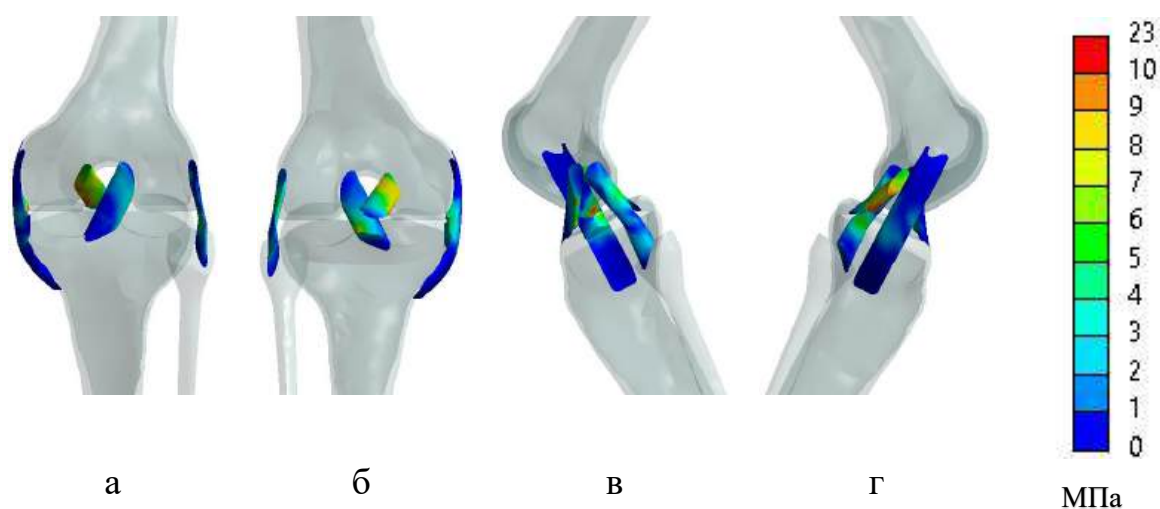


Рис. 5.9. Картина розподілу напружень у зв'язках КС у нормі, вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Аналізуючи результати математичного моделювання у моделі НК з аплазією LGC (Модель 2) встановлено, що відсутність схрещених зв'язок призводить до суттєвого перерозподілу навантажень із підвищенням напружень у колатеральних зв'язках. Зокрема, максимальні значення напружень у MCL збільшилися до 12,8 МПа, а в LCL—до 9,1 МПа. Напружено-деформований стан зв'язкового апарата за цієї патології наведено на рис. 5.10.

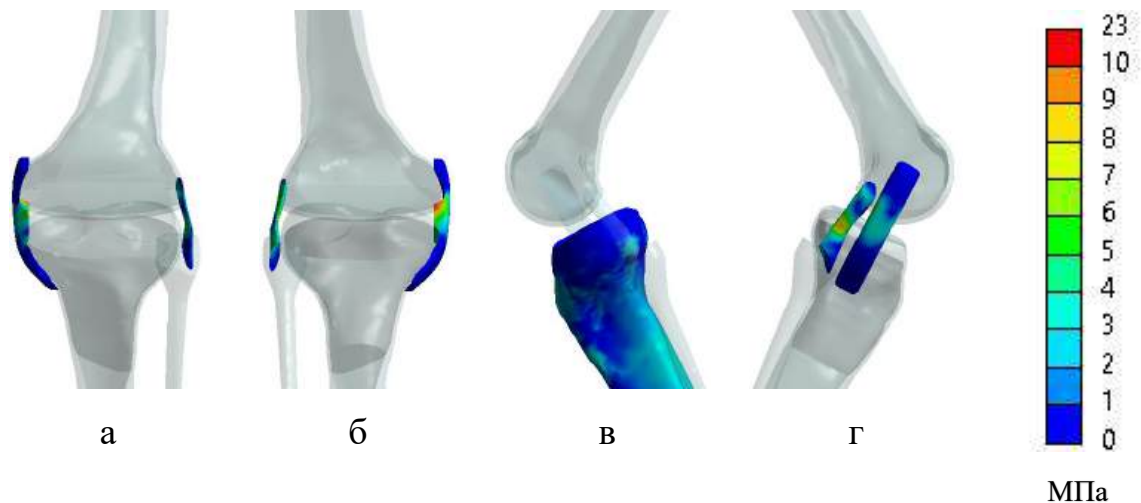


Рис. 5.10. Картина розподілу напружень у зв'язках КС у разі аплазії LGC, вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального боку; г – з медіального боку

Розподіл напружень у ЗКА КС у моделі НК з аплазією LGC після SUPER knee (Модель 3) подано на рис. 5.11. За результатами математичного моделювання встановлено, що зв'язки зі штучного матеріалу, які є аналогами сформованих аутозв'язок забирають на себе основну частину навантажень у КС, забезпечуючи рівномірне розподілення напруження у ЗКА КС. Це підтверджують близькі значення напружень експериментального аналога латеральної аутозв'язки (24,1 МПа) та медіальної аутозв'язки (25,7 МПа). Найвищий рівень напруження (55,7 МПа) визначається у передній частині аутозв'язки, яка виконує функцію ACL, що зумовлено умовами навантаження моделі, оскільки саме ця зона піддається максимальному розтягненню. У задній частині суглоба напруження в аутозв'язці не перевищує 27,2 МПа (відповідна кольорова ідентифікація на рис. 5.11). Вищі значення напружень у експериментального аналога аутозв'язки порівняно з природними зв'язками пояснюються більшим модулем пружності сформованої з фасціальних структур і прошитих нерезорбтивним шовним матеріалом, що призводить до нижчої пластичності, яка відображається в нижчому значенні коефіцієнта Пуассона.

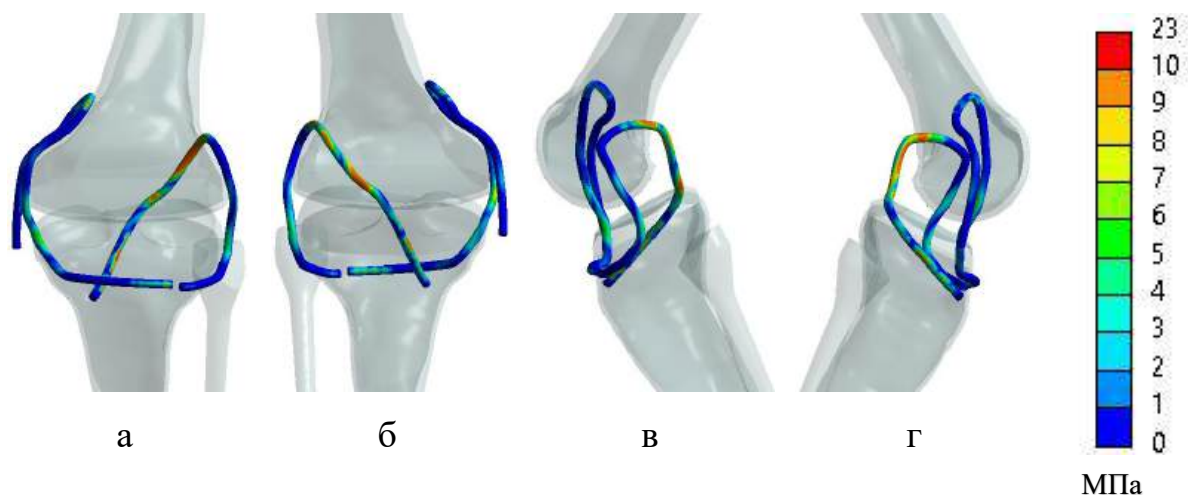


Рис. 5.11. Картина розподілу напружень у зв'язках КС після відновлення зв'язкового апарата за методикою SUPER knee, вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Дані про отримані експериментальні величини напружень у зв'язках моделей наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

**Величини напружень у зв'язках колінного суглоба**

Зв'язки	Напруження, МПа		
	Модель 1. НК без патології	Модель 2. НК з аплазією LGC	Модель 3. НК з аплазією LGC після SUPER knee
LCL	4,9	9,1	24,1
MCL	7,9	12,8	25,7
ACL	5,3	-	55,7
PCL	11,8	-	27,2

Діаграма, наведена на рис. 5.12, дозволяє наочно порівняти рівні напружень у зв'язковому апараті різних моделей колінного суглоба. Результати математичного моделювання засвідчили, що аплазія схрещених зв'язок призводить до суттєвого підвищення напружень в елементах зв'язкового апарата. Реконструкція зв'язок за методикою SUPER knee (D. Paley) дозволяє

значно зменшити рівень напружень у ЗКА КС. Основні навантаження в суглобі після реконструкції приходяться на сформовані аутозв'язки, забезпечуючи рівномірний розподіл напружень з обох боків суглоба.

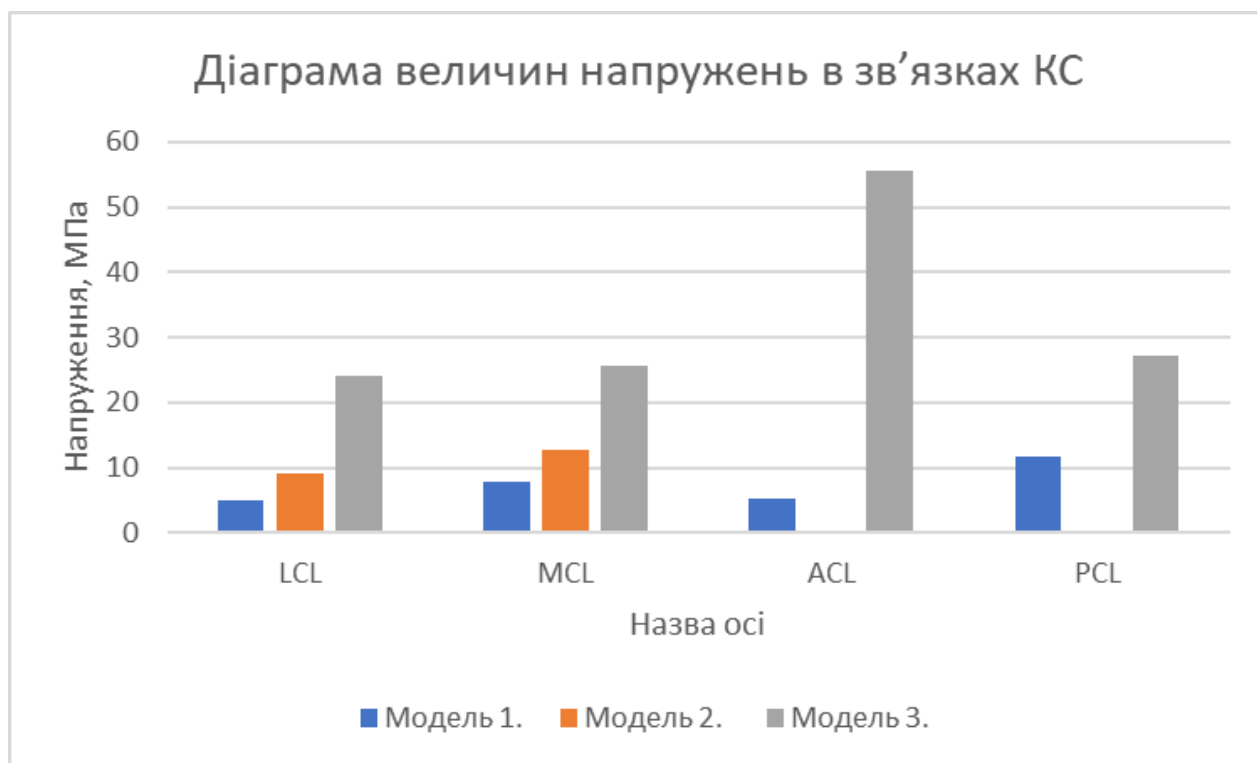


Рис. 5.12. Діаграма величин напружень у зв'язках КС; модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee; зв'язки КС: LCL – латеральна бічна зв'язка КС, MCL – медіальна бічна зв'язка КС, ACL – передня схрещена зв'язка, PCL – задня схрещена зв'язка. Пояснення в тексті

Висновки з експериментального дослідження напруження в створених моделях:

1. Агенезія схрещених зв'язок призводить до суттєвого підвищення рівня напружень як у кісткових структурах (особливо в горбистості великогомілкової кістки), так і в ЗКА КС, особливо в медіальній колатеральній зв'язці. Це свідчить про значний перерозподіл навантаження та виникнення біомеханічної нестабільності ураженого суглоба.

2. Використання методики реконструкції зв'язкового апарата колінного суглоба SUPER knee за D. Paley забезпечує значне зниження рівня напружень у кісткових структурах моделі з аплазією схрещених зв'язок. Величини напружень після проведеної реконструкції наближаються до нормальних показників, що демонструє ефективність методики щодо відновлення біомеханічної стабільності суглоба.

3. Після реконструкції за методикою SUPER knee основне навантаження в суглобі переходить на сформовані аутозв'язки, які демонструють значно більші величини напружень порівняно з природними зв'язками. Це обумовлено вищими механічними характеристиками аутозв'язок (високим модулем пружності та меншою пластичністю, що підтверджується нижчим коефіцієнтом Пуассона). Високий рівень напружень в аутозв'язках є свідченням їхньої ефективності в підтриманні стабільності суглоба та здатності надійно витримувати значні механічні навантаження під час його функціонування.

## **5.2. Аналіз результатів моделювання відносних деформацій зв'язкового апарата моделей колінного суглоба за умов аплазії схрещених зв'язок та після їх відновлення**

За результатами математичного моделювання визначено величини відносних деформацій зв'язок КС у досліджених моделях. Розподіл відносних деформацій для зв'язкового апарата КС у моделі НК без патології (Модель 1) поданий на рис. 5.13. Встановлено, що за умов нормальної будови колінного суглоба та заданого варіанта навантаження найбільші відносні деформації (до 4,0 %) реєструються у PCL. Відносні деформації ACL є вдвічі меншими та не перевищують 2,0 %. Подібні значення деформацій (близько 2,0 %) визначаються і для LCL, тоді як MCL зазнає більших деформацій, які сягають 3,0 %.

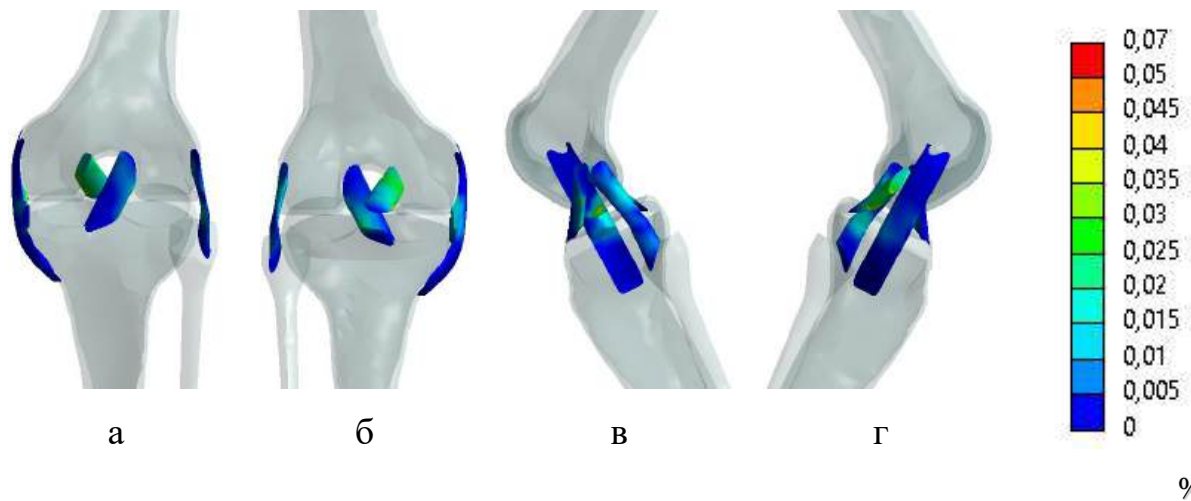


Рис. 5.13. Картина розподілу відносних деформацій у зв'язках КС у Моделі 1, вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку. Пояснення в тексті

На моделі НК з агенезією LGC (Модель 2) чітко відображається вплив відсутності LGC на величину відносних деформацій колатеральних зв'язок. Картина розподілу відносних деформацій зв'язкового апарата КС за умов аплазії LGC наведена на рис. 5.14. Встановлено, що відсутність латеральної колатеральної зв'язки спричиняє значний перерозподіл навантаження на інші колатеральні зв'язки, суттєво підвищуючи їхні відносні деформації. Зокрема, відносні деформації медіальної колатеральної зв'язки зростають до 5,0 %, а латеральної - до 3,0 %, що свідчить про суттєве збільшення навантаження на ці структури.

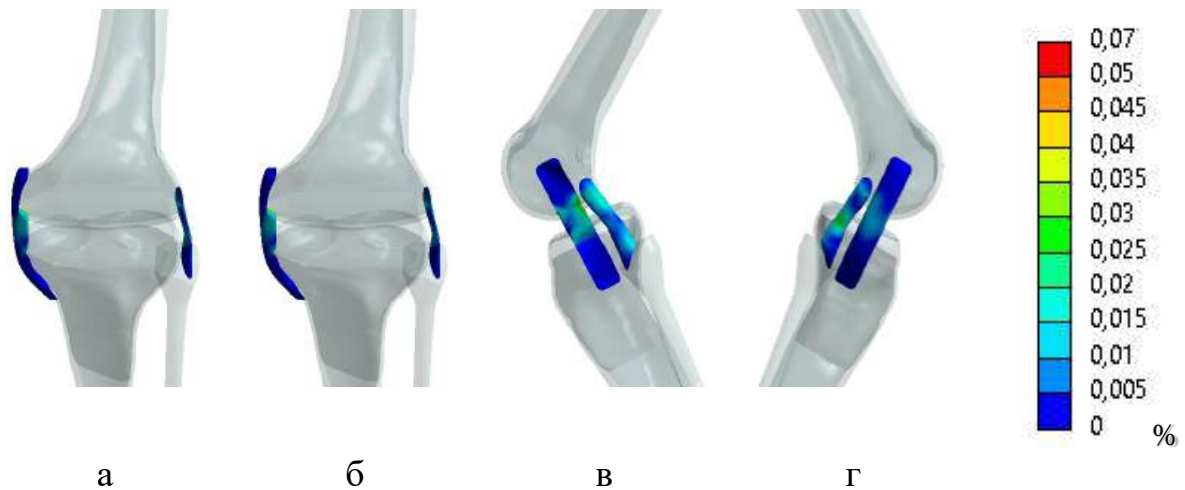


Рис. 5.14. Картина розподілу відносних деформацій у зв'язках КС за аплазії LGC (Модель 2), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Використання штучного матеріалу з більшою пружністю та меншою пластичністю для реконструкції зв'язкового апарата за методикою SUPER knee (D. Paley) (Модель 3) зумовлює зменшення величини відносних деформацій зв'язок порівняно з природними структурами. Максимальні відносні деформації реконструйованої аутозв'язки визначаються в передній частині та на латеральному боці суглоба і становлять близько 2,0 %. На медіальному боці суглоба величина відносних деформацій аутозв'язки є дещо більшою та сягає 3,2 %. У задній частині колінного суглоба, за заданого варіанта навантаження, деформації штучної зв'язки практично відсутні. Картина розподілу відносних деформацій зв'язкового апарата КС за умов аплазії LGC наведена на рис. 5.15.

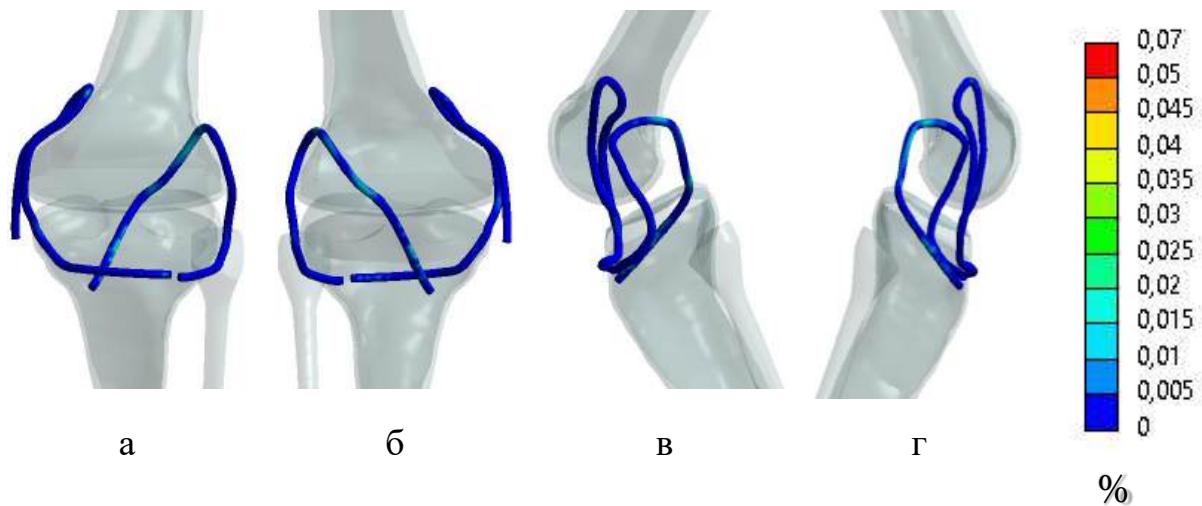


Рис. 5.15. Картина розподілу відносних деформацій у зв'язках КС після ПСКС за методикою SUPER knee (Модель 3) вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Зведені дані щодо величин відносних деформацій зв'язкового апарата колінного суглоба для різних варіантів моделей наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

#### Величини відносних деформацій у зв'язках колінного суглоба

Зв'язки	Відносна деформація, %		
	Модель 1. НК без патології	Модель 2. НК з аплазією LGC	Модель 3. НК з аплазією LGC після SUPER knee
LCL	2,0	3,0	2,0
MCL	3,0	5,0	3,2
ACL	2,0	-	2,0
PCL	4,0	-	0,0

Діаграма, наведена на рис. 5.16, демонструє наочне порівняння величин відносних деформацій елементів зв'язкового апарата колінного суглоба в різних моделях. Як свідчать подані результати, реконструкція зв'язок КС за

методикою SUPER knee із використанням аутозв'язок дозволяє суттєво зменшити величини деформацій у зв'язковому апараті порівняно з патологічною моделлю. Це, у свою чергу, сприяє значному покращенню стабільності колінного суглоба.

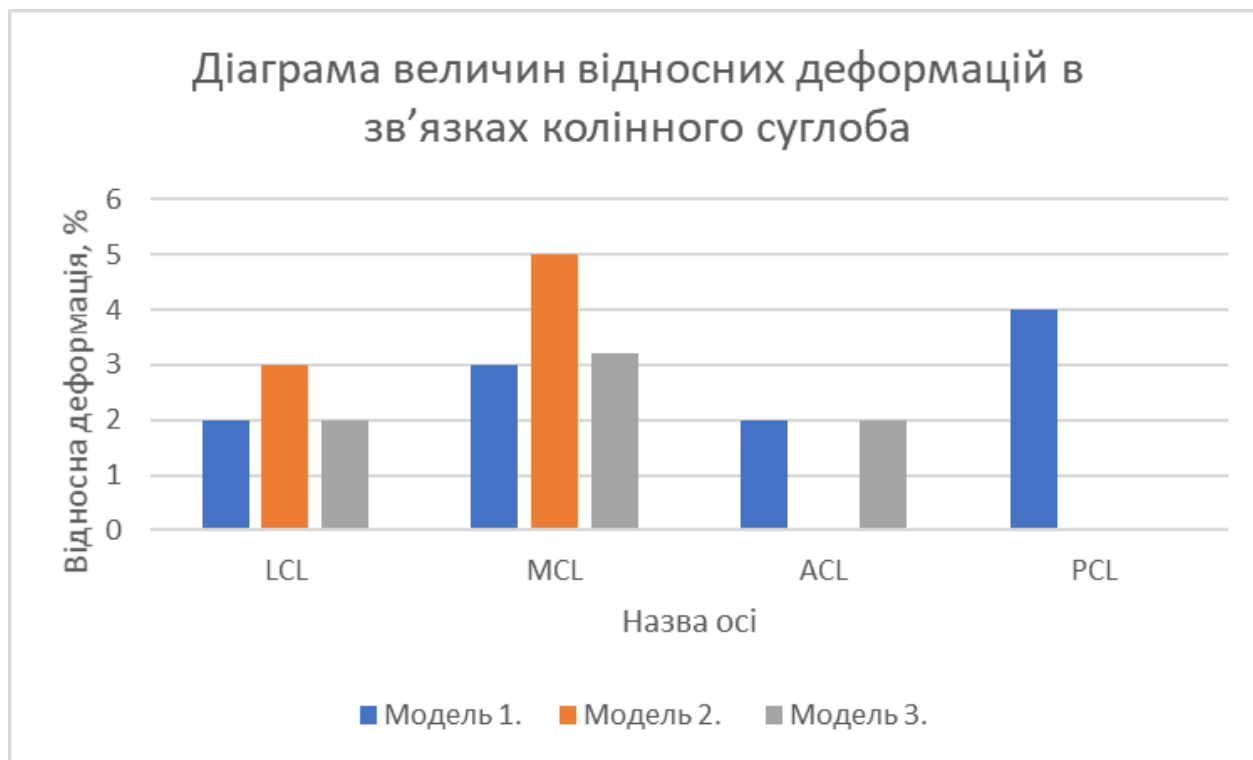


Рис. 5.16. Діаграма величин відносних деформацій у КС; Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, модель 3– НК з аплазією після SUPER knee; зв'язки КС: LCL – латеральна бічна зв'язка КС, MCL– медіальна бічна зв'язка КС, ACL – передня схрещена зв'язка, PCL – задня схрещена зв'язка. Пояснення в тексті

Висновки щодо експериментального дослідження. Аплазія LCG призводить до підвищення величин відносних деформацій в елементах ЗКА КС. Після відновлення ЗКА КС за методикою SUPER knee за D. Paley величини відносних деформацій в елементах ЗКА КС знижуються нижче показників моделі в нормі, що обумовлено механічними властивостями створених аутозв'язок. Низький рівень відносних деформації в стрічці є передумовою стабільності колінного суглоба.

### 5.3. Аналіз результатів математичного моделювання напружено-деформованого стану зв'язкового апарата КС у разі внесених змін до проведення аутозв'язок за модифікованою методикою

Під час аналізу отриманих результатів звертає на себе увагу підвищений рівень відносної деформації MCL порівняно з іншими зв'язками після реконструкції за методикою SUPER knee (рис. 5.12). Цей факт узгоджується з результатами клінічних тестів на бокову стабільність колінного суглоба, наведених у розділі 8. Для зменшення навантаження на MCL експериментальним шляхом проведено пошук оптимального варіанта розташування новостворених аутозв'язок під час реконструкції за методикою SUPER knee. Як результат, запропоновано модифіковану модель цієї методики, яка передбачає проведення зв'язкового матеріалу з медіального боку суглоба у формі «вісімки», що наочно подано на рис. 5.17.

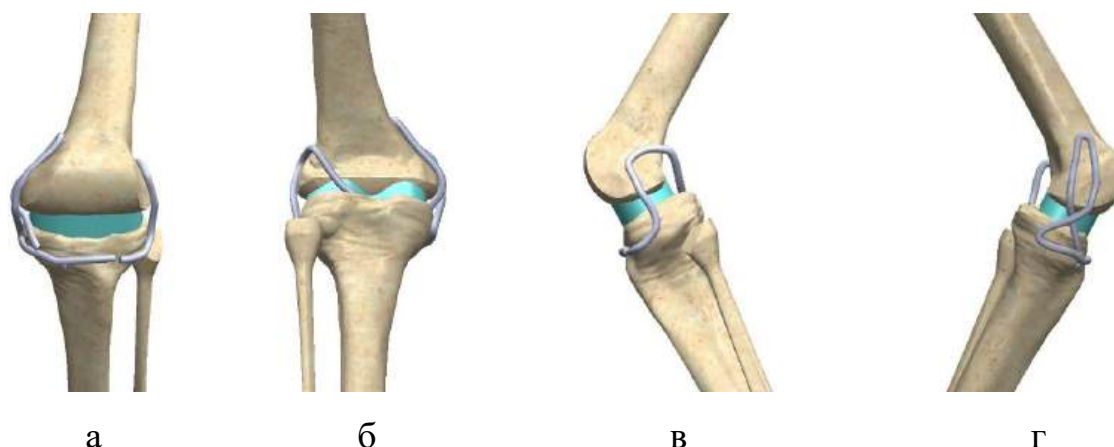


Рис. 5.17. Скінченно-елементна модель КС після виконання оперативного втручання за модифікованою методикою SUPER knee за D. Paley з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4) вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального ; г – з медіального боку

Проведення реконструктивно-відновлювального втручання за модифікованою методикою SUPER knee зі застосуванням 8-подібного проведення колатеральних зв'язок із медіального боку позитивно впливає на розподіл напружень у стегновій кістці (рис. 5.18). Використання запропонованої нами модифікації методики дозволяє суттєво знизити напруження в задньому відділі стегнової кістки - майже удвічі, до 14,2 МПа -

порівняно з оригінальною методикою SUPER knee (D. Paley). Водночас, рівень напружень у передньому відділі стегнової кістки незначно підвищується - з 3,5 до 3,7 МПа. Щодо колатеральних зв'язок, то медіальна демонструє незначне зменшення рівня напружень (з 8,3 до 8,1 МПа), тоді як латеральна зв'язка зазнає деякого підвищення напружень (із 5,2 до 5,9 МПа).

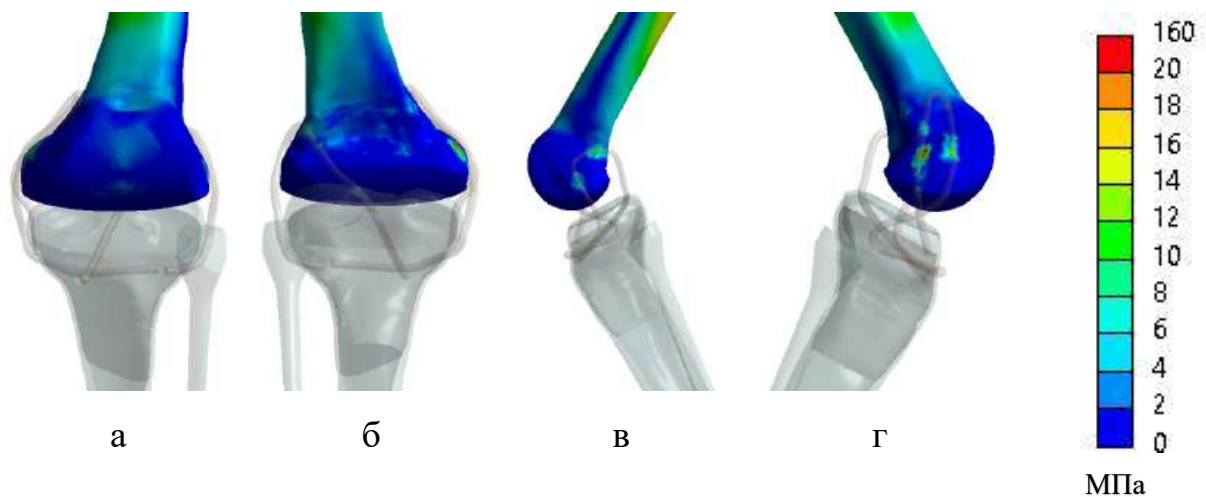


Рис. 5.18. Картина розподілу напружень у стегнової кістці після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Дані про величини напружень у контрольних точках на стегновій кістці всіх чотирьох моделей наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

#### Величини напружень у дистальному відділі стегнової кістки

№ з/п	Контрольна точка	Напруження, МПа			
		Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
1	Передня поверхня	11,5	18,6	3,5	3,7
2	Латеральна поверхня	12,2	39,4	27,5	14,2
3	МЯСК	5,4	5,0	5,2	5,9
4	Медіальна поверхня	8,4	7,3	8,3	8,1
5	Нижня поверхня	5,6	16,3	1,2	1,2

Для зручнішого порівняння величин напружень між різними моделями побудовано діаграму, яка наведена на рисунку 5.19. У ній продемонстровано суттєве зниження рівня напружень у латеральній поверхні дистального відділу стегнової кістки під час застосування модифікованої методики SUPER knee порівняно з оригінальною технікою. В інших відділах стегнової кістки зміни рівня напружень є незначними та не мають принципового впливу на біомеханічні характеристики суглоба.

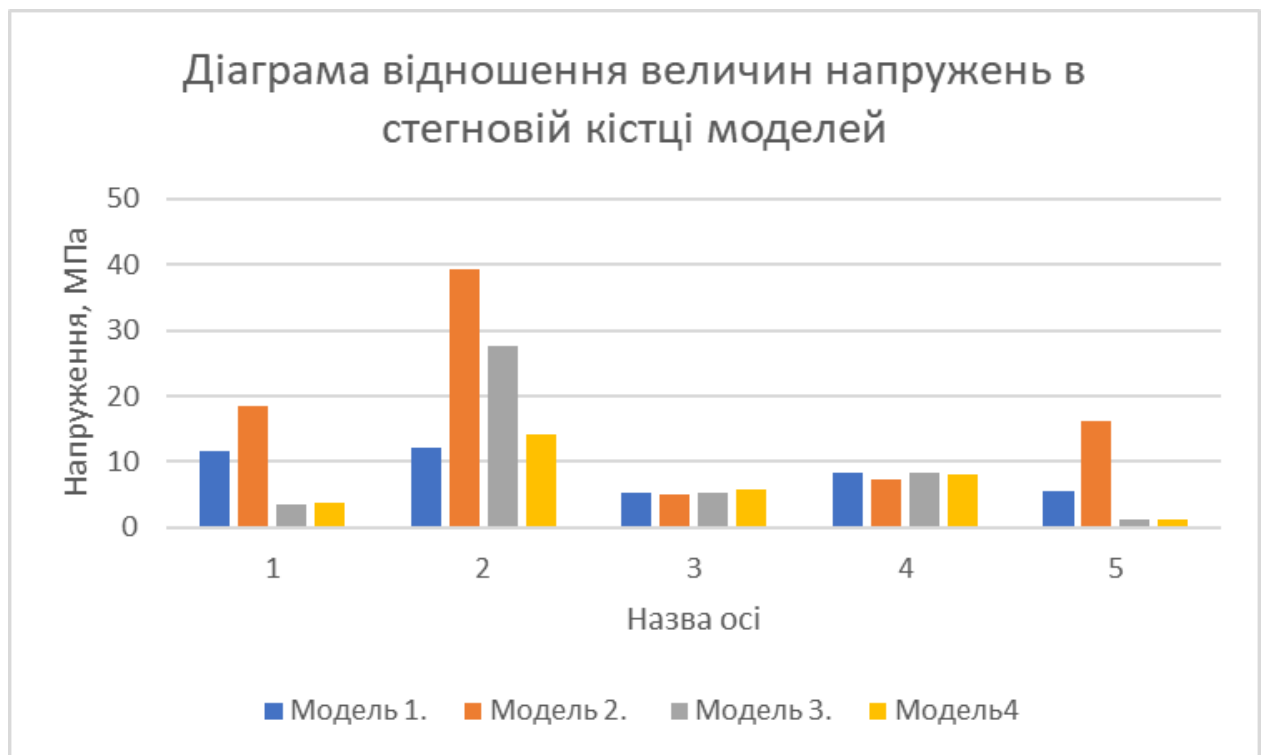


Рис. 5.19. Діаграма величин напружень у стегновій кістці моделей. Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee, Модель 4 – НК з аплазією LGC із модифікацією ПСКС; контрольні точки: 1 – передня поверхня дистального відділу стегнової кістки, 2 – латеральна поверхня дистального відділу стегнової кістки, 3 – МЯСК, 4 – медіальна поверхня дистального відділу стегнової кістки; 5 – нижня поверхня дистального відділу стегнової кістки. Пояснення діаграми в тексті

Напружено-деформований стан великогомілкової кістки після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4) наведено на рис. 5.20. За результатами математичного моделювання встановлено, що застосування цієї модифікованої техніки дозволяє знизити рівень напружень у всіх контрольних точках порівняно з оригінальною методикою SUPER knee (D. Paley). Водночас, отримані значення напружень залишаються вищими за нормальні показники, за винятком зони міжвиросткового підвищення, де напруження знижуються до 2,8 МПа, що є нижчим за норму. Це явище пояснюється відсутністю схрещених зв'язок, які в нормальних умовах забезпечують додатковий рівень стабілізації та навантаження на цю зону.

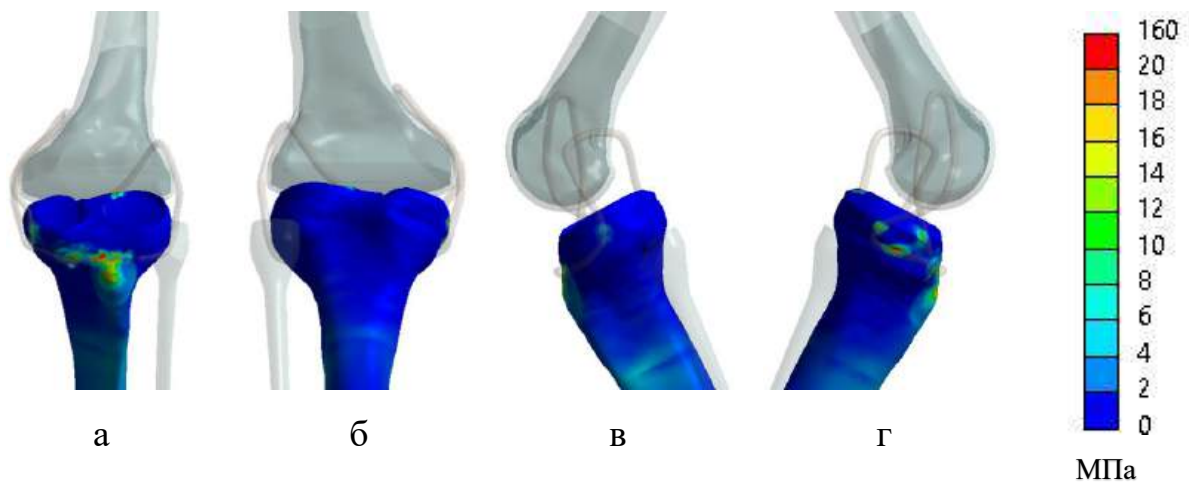


Рис. 5.20. Картина розподілу напружень у великогомілковій кістці після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Дані про величини напружень у контрольних точках на великогомілковій кістці різних моделей наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

**Величини напружень в великогомілковій кістці**

№ з/п	Контрольна точка	Напруження, МПа			
		Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
6	Горбистість	10,2	20,4	14,0	13,8
7	Латеральна поверхня проксимального відділу	2,2	6,0	14,3	11,8
8	Задня поверхня плато	2,7	10,7	4,9	4,6
9	Медіальна поверхня проксимального відділу	3,1	7,5	8,1	7,8
10	Міжвиросткове підвищення	6,5	4,3	4,8	2,8

Наочне уявлення про співвідношення величин напружень у контрольних точках на великогомілковій кістці різних моделей можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рисунку 5.21.

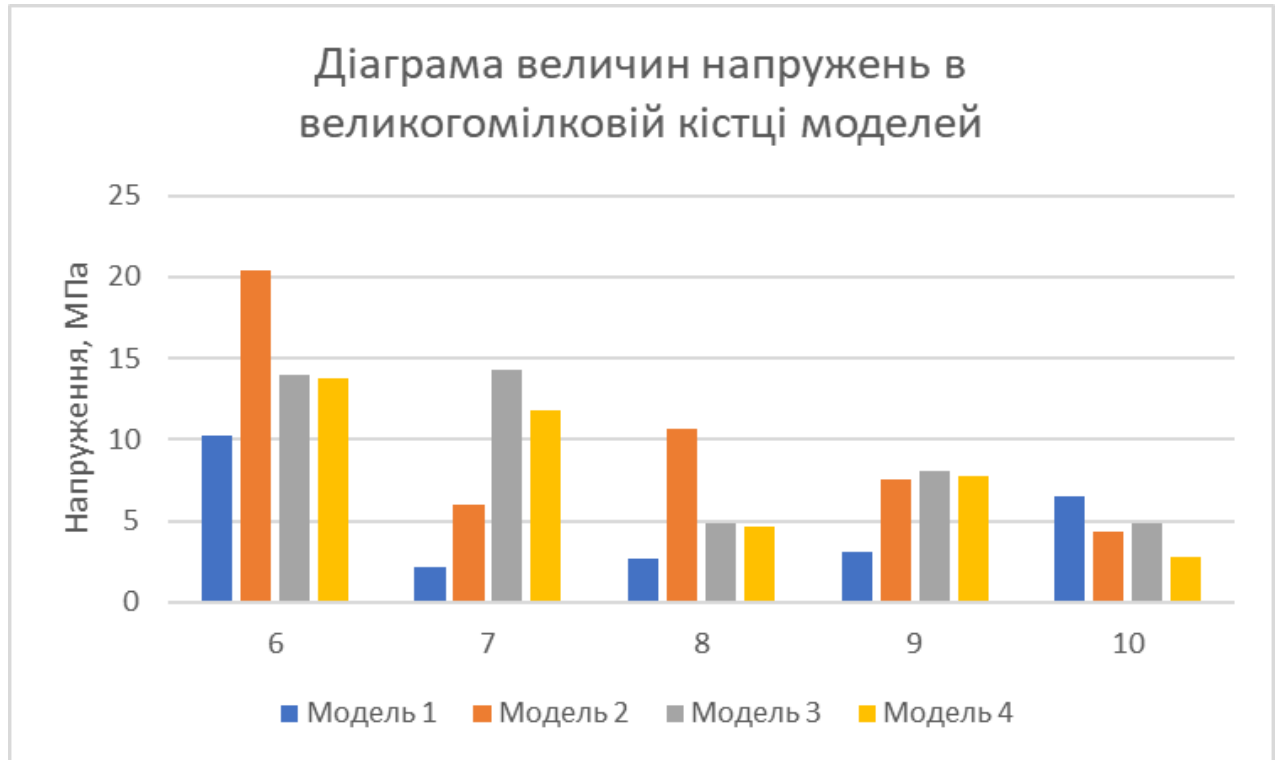


Рис. 5.21. Діаграма співвідношення величин напружень у великогомілковій кістці моделей; Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee, Модель 4 – НК з аплазією LGC із модифікацією ПСКС; контрольні точки: 6 – горбистість, 7 – латеральна поверхня проксимального відділу; 8 – задня поверхня плато; 9 – медіальна поверхня проксимального відділу; 10 – міжвиросткове підвищення. Пояснення в тексті

Розподіл напружень у зв'язках колінного суглоба після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4) поданий на рис. 5.22. Результати математичного моделювання показали, що застосування цієї модифікованої методики порівняно з її оригінальним виконанням за

D. Paley дозволяє незначно знизити рівень напружень у зв'язках. Це зумовлено зміною кута прикладання сил, які діють у колінному суглобі. Зокрема, величини напружень у лавсановій стрічці становлять 23,9 МПа на латеральному боці та 25,1 на медіальному. Максимальні напруження, як і під час використання оригінальної методики SUPER knee за D. Paley, спостерігаються в передній частині аутозв'язки. Проте їх значення є дещо нижчими – 54,2 МПа порівняно з оригінальною методикою.

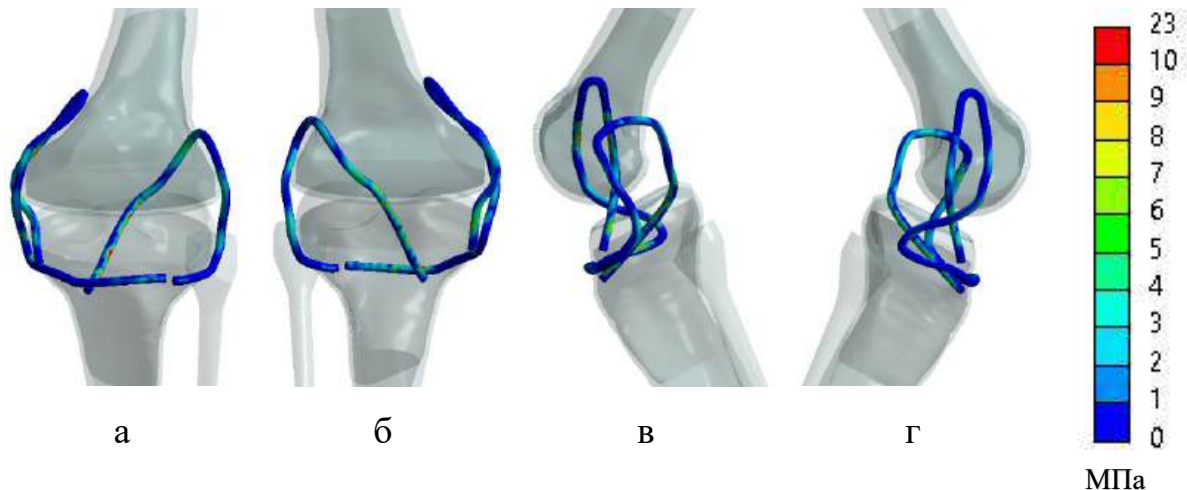


Рис. 5.22. Картина розподілу напружень у зв'язках КС після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок з медіального боку, вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Отримані дані про величини напружень в зв'язках моделей наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

#### Величини напружень у зв'язках колінного суглоба

Зв'язки	Напруження, МПа			
	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
LCL	4,9	9,1	24,1	23,9
MCL	7,9	12,8	25,7	25,1
ACL	5,3	-	55,7	54,2
PCL	11,8	-	-	-

Діаграма, наведена на рисунку 5.23, надає можливість порівняння величин напружень, які виникають у зв'язковому апараті КС моделей.

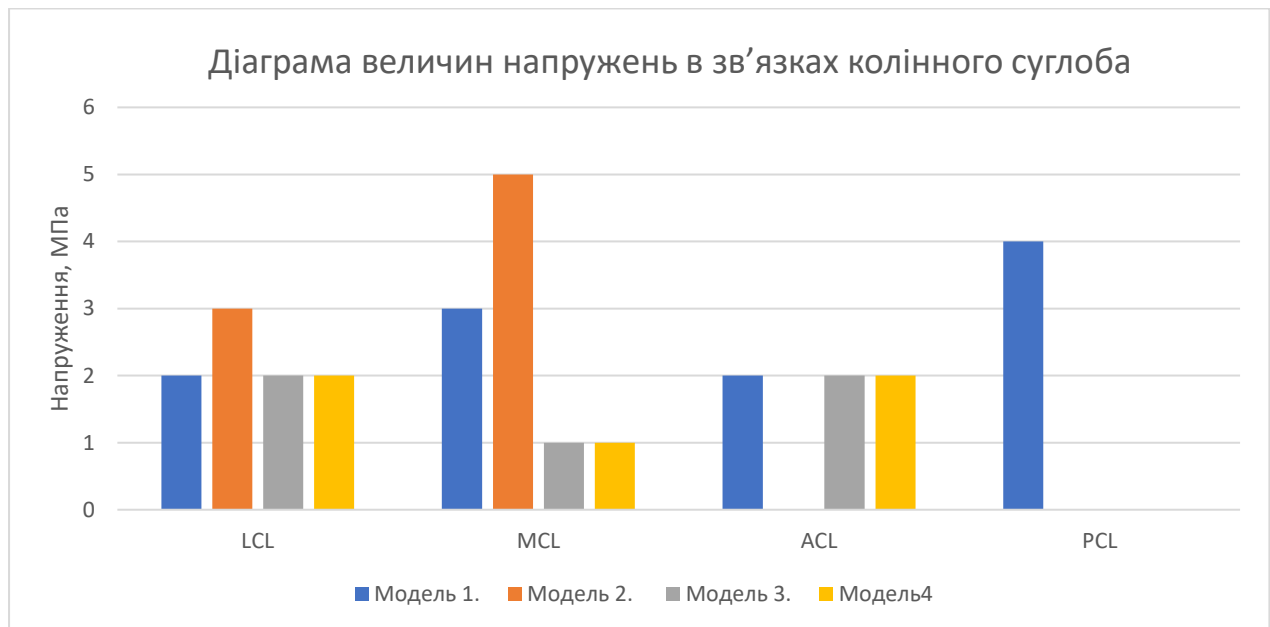


Рис. 5.23. Діаграма величин напружень у зв'язках КС. Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee, Модель 4 – НК з аплазією LGC із модифікацією ПСКК; зв'язки КС: LCL – латеральна бічна; MCL – медіальна бічна; ACL – передня схрещена; PCL – задня схрещена. Пояснення в тексті

На рисунку 5.24 наведено розподіл відносних деформацій у зв'язках колінного суглоба після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку.

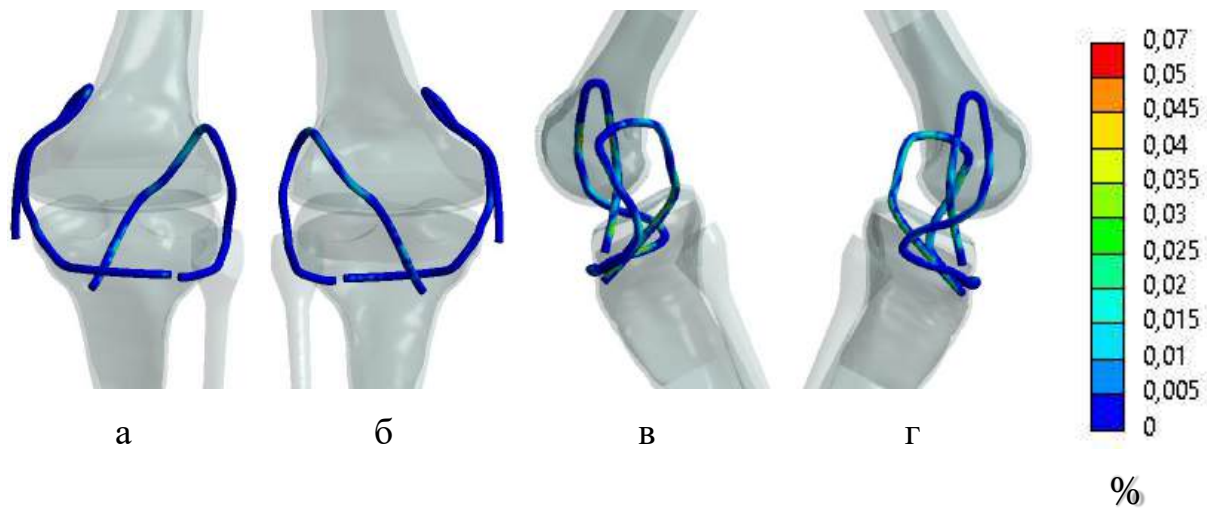


Рис. 5.24. Картина розподілу відносних деформацій у зв'язках КС після відновлення зв'язкового апарата за модифікованою методикою SUPER knee з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку (Модель 4), вигляд: а – спереду; б – ззаду; в – з латерального; г – з медіального боку

Що стосується величин відносних деформацій в елементах штучного зв'язкового апарата КС, то доцільно відмітити, що будь-яких суттєвих переваг модифікована методика порівняно з оригінальним варіантом SUPER knee за D. Paley не надає, про що переконливо свідчать абсолютно однакові показники, які наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

#### Величини відносних деформацій в зв'язках колінного суглоба

Зв'язки	Відносна деформація, %			
	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
LCL	2,0	3,0	2,0	2,0
MCL	3,0	5,0	1,0	1,0
ACL	2,0	–	2,0	2,0
PCL	4,0	–	–	–

Діаграма, наведена на рис. 5.25, наочно ілюструє співвідношення величин відносних деформацій елементів зв'язкового апарату колінного суглоба в різних моделях. Аналіз отриманих даних свідчить, що відновлення зв'язкового апарату колінного суглоба із застосуванням штучного матеріалу за методикою SUPER knee (D. Paley), а також її модифікованого варіанту з 8-подібним проведенням колатеральних зв'язок із медіального боку, сприяє суттєвому зменшенню відносних деформацій елементів заднього комплексу апарату (ЗКА) КС. Це, у свою чергу, підвищує стабільність колінного суглоба порівняно з показниками контрольної (нормальної) моделі. Однак, при порівнянні між собою обидві методики не демонструють статистично достовірної різниці у рівнях відносних деформацій.

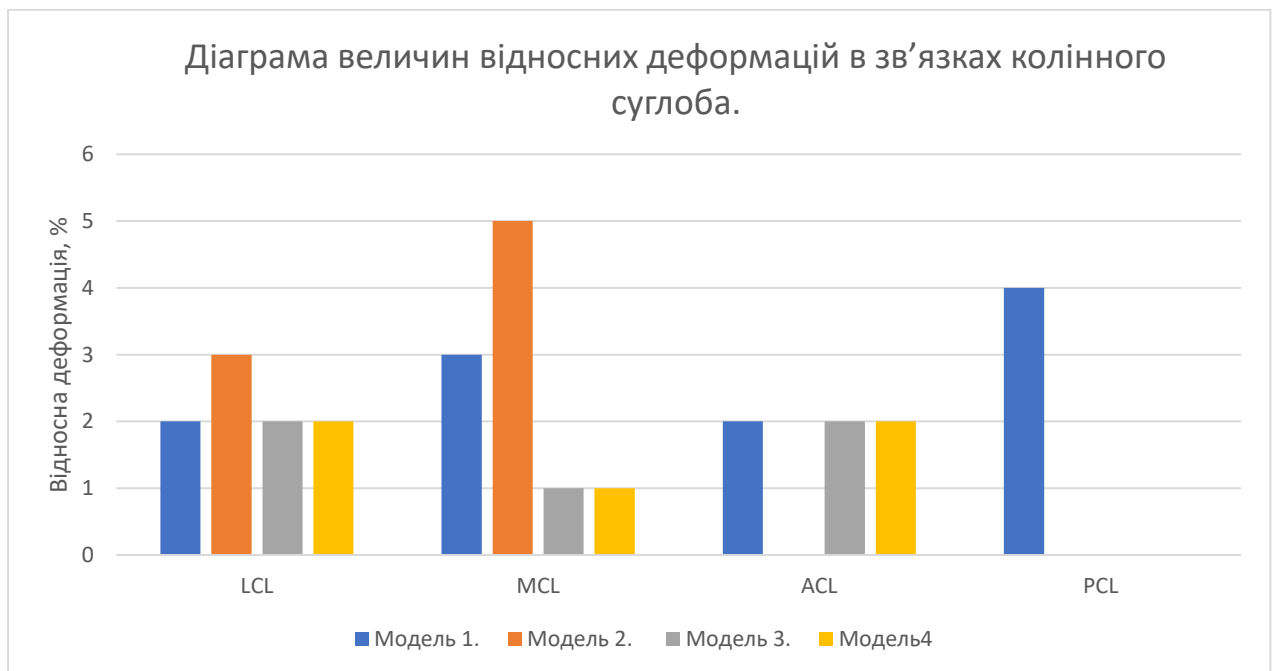


Рис. 5.25. Діаграма величин відносних деформацій в зв'язках колінного суглоба. Модель 1 – НК без патології, Модель 2 – НК з аплазією LGC, Модель 3 – НК з аплазією після SUPER knee, Модель 4 – НК з аплазією LGC із модифікацією ПСКС; зв'язки КС: LCL – латеральна бічна; MCL – медіальна бічна; ACL – передня схрещена; PCL – задня схрещена; пояснення в тексті

## Резюме до розділу 5

Піл час експериментального дослідження: за результатами експериментального моделювання встановлено, що оптимальний спосіб проведення новостворених аутозв'язок у межах процедури SUPER knee. Здобуті дані стали підґрунтям для розробки покращень до існуючої методики ПСКС (підрозділ 6.4) та були підтверджені позитивними клінічними результатами після впровадження цих удосконалень (розділ 8).

1. Вплив аплазії LGC на напружено-деформований стан КС. Агенезія LGC призводить до значного підвищення рівня напружень і відносних деформацій, як у зв'язковому апараті, так і в кісткових структурах КС.

Зв'язковий апарат:

- Напруження в латеральній колатеральній зв'язці зростає з 4,9 (норма) до 9,1 МПа.
- Напруження в медіальній колатеральній зв'язці збільшується з 7,9 (норма) до 12,8 МПа.
- Відносні деформації MCL досягають 5,0 % (проти 3,0 % у нормі), а LCL – 3,0 % (проти 2,0 % у нормі).

Кісткові елементи:

- Напруження в задній частині стегнової кістки зростає з 12,2 до 39,4 МПа.
- У передньому відділі стегнової кістки рівень напружень збільшується з 11,5 до 16,3 МПа.
- Напруження у нижній частині стегнової кістки підвищується з 5,6 до 16,3 МПа.

Такі зміни свідчать про суттєве збільшення навантаження на медіальні та латеральні стабілізатори суглоба, що призводить до його нестабільності та зміни біомеханічних характеристик.

2. Вплив реконструкції зв'язкового апарата за методикою SUPER knee (D. Paley). Відновлення зв'язкового апарата за цією методикою дозволяє

суттєво знизити рівень напружень у кісткових елементах моделі з аплазією LGC, наближуючи показники до норми.

Зниження відносних деформацій:

- Відносна деформація LCL зменшується з 3,0 до 2,0 % (норма 2,0 %).
- Відносна деформація MCL зменшується з 5,0 до 3,2 % (норма 3,0 %).

Зниження напружень у кісткових елементах свідчить про відновлення біомеханічного балансу в суглобі. Проте напруження в аутозв'язці після реконструкції значно зростають, що пояснюється механічними властивостями аутозв'язок, які мають високий модуль пружності та нижчу пластичність порівняно з природними зв'язками. Підвищений рівень напружень в аутозв'язці підтверджує її здатність витримувати механічні навантаження й ефективно виконувати стабілізуючу функцію. Водночас низький рівень відносних деформацій і аутозв'язці є важливою передумовою забезпечення стабільності колінного суглоба.

3. Вплив модифікації методики SUPER knee на стабільність колінного суглоба. Зміна схеми проведення аналога PCL у методиці SUPER knee шляхом 8-подібного проведення колатеральних зв'язок із медіального боку покращує бокову стабільність КС за умов відсутності LGC.

Основні ефекти модифікованої методики:

- Дозволяє зменшити рівень напружень у всіх контрольних точках порівняно з класичною методикою SUPER knee.
- Покращує перерозподіл навантаження, знижуючи напруження в задньому відділі стегнової кістки вдвічі (до 14,2 МПа) без суттєвого збільшення напружень у передньому відділі.
- Забезпечує більш рівномірне навантаження на аутозв'язку, що підтверджується нижчим рівнем максимальних напружень у передній частині стрічки (54,2 МПа) порівняно з оригінальною методикою.

Отже, потрібно зазначити, що аплазія LGC призводить до вираженої біомеханічної нестабільності КС, що проявляється підвищенням напружень у

зв'язковому апараті та кісткових структурах. Відновлення зв'язкового апарата за методикою SUPER knee (D. Paley) суттєво покращує біомеханічні показники суглоба, наближаючи їх до норми. Модифікований варіант методики SUPER knee із 8-подібним проведенням аутозв'язки із медіального боку забезпечує кращий розподіл навантажень, що покращує бокову стабільність суглоба та сприяє зменшенню напружень у його елементах. Як підсумок, запропонована модифікація методики SUPER knee є ефективною стратегією для корекції нестабільності КС за умов аплазії LGS.

Матеріали розділу 5 подані в наступних публікаціях

1. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky M., & Yaresko O. (2022). Study of relative deformations of the ligamentous apparatus of the knee joint in case of aplasia of the cruciate ligaments and after their restoration (mathematical modeling). *Trauma*, 23(5), 12–18. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.5.23.2022.911>.

2. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky, M., & Yaresko, O. (2022). Mathematical modeling of the stress-strain state of the knee joint model with aplasia of the cruciate ligaments and after restoration of the ligamentous apparatus. *Paediatric Surgery (Ukraine)*, № 4(77), 75-83. doi <https://doi.org/10.15574/PS.2022.77.75>.

3. Якушкін Є. Ю., Хмизов С. О., Карпінський М. Ю., Яресько О. В. Аналіз напружено-деформованого стану зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок. *Актуальні проблеми ортопедії та травматології* : ювілейний зб. наук. пр. [Інтернет]. / Харків, 2024. С. 118-130. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.

## РОЗДІЛ 6.

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ НКС ЗА ВПВРНК

#### 6.1. Аналіз даних ретроспективного дослідження

На основі матеріалу описаного в підрозділі 2.5 проведено аналіз 247 архівних історій хвороб у діагнозі яких зазначалось «вроджена вада розвитку нижньої кінцівки» серед яких відібрано 33 клінічні випадки які підпадали під характеристику ВПВРНК, яка включає в себе вроджену гіпоплазію стегнової кістки (CFD), фібулярну гемімелію (FH) або поєднання цих патологій. Аналіз відібраних 33 клінічних випадків ВПВРНК засвідчив, що у всіх пацієнтів спостерігалася супутня НКС, причому патологія була однобічною. Вибірка включала 5 випадків поєднання CFD та FH, 12 випадків ізольованої CFD та 16 – ізольованої FH. Загалом із 2008 по 2019 рр. у 19 пацієнтів було виконано ПСКС за методикою SUPER knee (D. Paley), а додаткові реконструктивні втручання на кульшовому та надп'ятково-гомільковому суглобах проводилися відповідно до протоколів SUPER hip та SUPER ankle. Усі хворі мали в анамнезі процедури подовження кінцівки (у 2–3 етапи), при цьому в 27 випадках одночасно виконувалася корекція осі кінцівки – шляхом геміепіфізіодезу (16 випадків) або за допомогою апарата зовнішньої фіксації (АЗФ) (21 випадок). Із 19 проведених оперативних ПСКС (група А<sub>1</sub>, розділ 8), у 15 із яких проводилися додаткові втручання на наколінку (операції за Yamamoto [279], транспозиція горбистості великогомілкової кістки тощо). Середня тривалість втручання сягала 3 год 15 хв, а післяопераційне стаціонарне перебування становило близько 23 діб. Відновлення рухової активності в колінному суглобі розпочиналося в середньому через 32 дні після операції. У 3 випадках (16 %)

відзначено крайовий некроз шкіри, який загоївся вторинним натягом без ускладнень, а в 4 – гіпертрофічні рубці, які викликали дискомфорт.

Незважаючи на обрані методи корекції, у 52,7 % хворих виявлено залишкову медіальну нестабільність із «м'якою» точкою зупинки, а за тестом «передньої шухляди» 74 % пацієнтів мали трансляцію 2–4 мм, 21 % – 5–7 мм. (табл. 8.2, розділ 8). Наявність подібних ускладнень і неповної стабілізації колінного суглоба підтверджує складність хірургічної корекції ВПВРНК і свідчить про необхідність подальшого вдосконалення існуючих методик оперативного втручання. Ураховуючи складність патології, розроблено робочу схему НКС (Додаток Г), що дозволяє систематизувати підходи до діагностики та лікування.

За даними літератури [111–113, 118, 179, 192, 222, 279, 280], середня тривалість оперативних втручань становить близько 3 год 35 хв, а частота шкірних ускладнень сягає 30 %. На рисунку 6.1, наведеному в публікації Milud Shadi [221], проілюстровано випадок некрозу шкіри: клінічна картина на 2-6-му тижнях після операції, а також наслідки через 12 місяців.



Рис. 6.1. Приклад ускладнення SUPER knee у вигляді великого некротичного дефекту в зоні проведення операції (після втручання): а – 2 тижні; б – 2 міс.; с – 12 міс. Дані взяті зі статті Milud Shadi [221]

З огляду на зазначене було розроблено низку змін до методики SUPER knee, спрямованих на зменшення ризику ускладнень і покращення результатів оперативного лікування.

## **6.2. Модифікація проведення хірургічного доступу та виділення FL**

За класичною методикою SUPER knee, аутозв'язки формуються з широкої фасції стегна. Для цього традиційно застосовується значний за розміром дугоподібний розтин уздовж усього стегна через передню поверхню колінного суглоба, що дає змогу якісно виділити трансплантат і виконати формування аутозв'язок. Проте подібний хірургічний доступ супроводжується низкою недоліків: великим обсягом травмування м'яких тканин, більшою крововтратою, ішемізацією тканин, а також збільшенням часу операції (потрібен часу на коагуляцію та ушивання розширеного розтину). Згідно з літературними даними, такий доступ асоціюється з 30 % ускладнень у вигляді некрозу м'яких тканин [221].

Із метою зменшення цих ускладнень запроваджено практику виконання трьох розтинів:

1. Дугоподібний у проекції передньої поверхні КС – від нижньомедіального до верхньолатерального кута;
2. Другий, довжиною до 5 см, у задньо-медіальній ділянці КС (для правильного заведення та фіксації аутозв'язки – аналога PCL);
3. Третій – у місці переходу м'яза-натягувача широкої фасції (*m. tensor fasciae latae*) в широку фасцію стегна (FL) для подальшого виділення та відсікання необхідної порції фасції.

Додатково, на відміну від класичної SUPER knee, запропоновано не відсікати FL повністю, а залишати невелику порцію, що, хоч і незначно, проте забезпечує додаткову стабілізацію кульшового та колінного суглобів [113]. Для якісного виділення FL її акуратно відсепаровують елеватором від підшкірної клітковини й підлеглих тканин, розділяють на порції за допомогою

модифікованого «У»-подібного тенотому. Після відсікання необхідного фрагмента FL від м'яза-натягувача, його вільний край підшивають до залишку vastus lateralis. Для ушивання рекомендовано застосовувати шов за Альговері [222], бо він забезпечує належну міцність і кращий косметичний результат. Аналіз результативності зазначених нововведень описано в розділі 8.

### **6.3. Модифікація техніки формування аутозв'язок**

За класичним підходом SUPER knee [179] аутозв'язки рекомендується формувати за допомогою шва Кракова [118]. Проте така техніка має два основні недоліки:

1. Плaska форма аутозв'язок виявляється менш стійкою до розтягнення [192];
2. Тривалість операції збільшується за рахунок складності прошивання.

Тому було модифіковано тип прошивання з метою підвищення міцності аутозв'язки й скорочення часу, витраченого на її формування. Для збільшення резистентності до розтягнення пласку форму аутозв'язки перетворюють на овальну шляхом прошивання петльовою ниткою з нерезорбувального матеріалу.

Крок 1. Голка вводиться зі зовнішнього боку ділянки FL (у подальшому – аутозв'язка) на рівні приблизно 3 мм від горбика Gerdi, орієнтовно посередині ширини аутозв'язки. Нитка протягується не повністю, аби залишити ззовні петлю завдовжки 3 см.

Крок 2. Наступний прокол виконується на 2 мм нижче, у напрямку від внутрішньої до зовнішньої поверхні аутозв'язки, на тому ж рівні по ширині. Після проведення голки нитка пропускається через попередньо залишену петлю та затягується.

Крок 3. Аутозв'язка проводиться через петлю нитки і натягується тенотримачем. Наступний прокол робиться на 4 мм вище попереднього з внутрішньої до зовнішньої поверхні аутозв'язки та на 1–2 мм у бік від середини

ширини аутозв'язки. Під час затягування краї плоскої фасції «ввертаються» до середини, набуваючи овальної форми.

Крок 4. Дії кроку 3 повторюються до кінця довжини аутозв'язки, причому відступи на 1–2 мм від середини чергуються вправо та вліво.

Крок 5. По завершенню прошивання одну з ниток відсікають від голки, а на кінці формують «замок» за типом шва Кракова та зв'язують нитки між собою.

Загальний вигляд сформованої зв'язки зображено на рисунку 6.2.



Рис. 6.2. Зовнішній вигляд сформованої аутозв'язки, та розміри та розташування хірургічного доступу.

Такий підхід підвищує міцність аутозв'язок завдяки:

1. Перетворенню плоскої форми на овальну;
2. Зміцненню зовнішньої поверхні шляхом обвиття нерезорбувальною ниткою;
3. Підсиленню опору на розтягнення за рахунок осьового прошивання посередині;
4. Чергуванню проколів праворуч і ліворуч від осі аутозв'язки, що запобігає прорізуванню тканин під час натягу.

Застосування цієї методики в 26 подальших операціях дало змогу зменшити середню тривалість втручання до 2 год 20 хв. На рисунку 6.3 показано приклад двох порцій FL до прошивання, а на рисунку 6.4 проілюстровано 2 готові аутозв'язки.



Рис. 6.3. Інтраопераційно фото розділених двох порцій FL до формування аутозв'язок



Рис. 6.4. Інтраопераційне фото зазначених на рисунку 6.3 розділених двох порцій FL перетворених прошиванням у дві аутозв'язки

Під час контрольного огляду через 5 місяців тест передньої «висувної шухляди» свідчив, що у 62 % пацієнтів передня трансляція складала 0–2 мм, а у 38 % – 2–4 мм, у той час як до операції 31 % мали трансляцію 5–7 мм, а 69 % – понад 7 мм. (таб. 8.2).

#### **6.4. Удосконалення до методики проведення аутозв'язок**

Спираючись на результати математичного експериментального моделювання (підрозділ 5.3) [111, 112, 280], встановлено, такі дані:

- фіксація аутозв'язки-аналога PCL до капсули нижче суглобової поверхні з перекидуванням через сухожилок *m. adductor magnus* підвищує бокову стабільність колінного суглоба;

- прошивання порції, яка викор истовується як аналог ACL, «сама на себе» після огинання через *intermuscular septum* позитивно впливає на бокову стабільність КС.

Ці технічні модифікації були впроваджені під час 26 подальших оперативних втручань, серед яких до операції у 84,6 % пацієнтів була відзначена медіальна нестабільність. Під час контрольного обстеження через 5 місяців після операції випадків бокової нестабільності не виявлено (результати наведено в таб. 8.3).

#### **Резюме до розділу 6**

Запропоновані зміни до методики SUPER kneee суттєво поліпшили результати оперативного лікування за рахунок:

- скорочення загальної тривалості втручання;
- зменшення обсягу травмування м'яких тканин;
- оптимізації техніки формування й фіксації аутозв'язок.

Усе це сприяє можливості раннього початку реабілітації та відновлення рухів у колінному суглобі, а також забезпечує надійну біомеханіку й стабілізацію КС в умовах подальшого росту дитини та збільшення навантаження на кінцівку. Загалом, за результатами 26 операцій із упровадженими змінами вдалося знизити тривалість оперативного втручання на 31,7 % порівняно з літературними даними (зміни відображено на рис. 6.5), звести до нуля кількість шкірних ускладнень (зміни відображено на рис. 6.6) і підвищити стабільність колінного суглоба (зміни відображено на рис. 6.7).

Крім того, скоротився середній термін перебування пацієнта в стаціонарі з 23 діб до 16 (зменшення на 30,4 %) та істотно прискорився період післяопераційної реабілітації: пасивні рухи в колінному суглобі розпочиналися в середньому на 11-ту добу після операції замість 32-ї (діаграма змін відображена на рисунку 6.8).

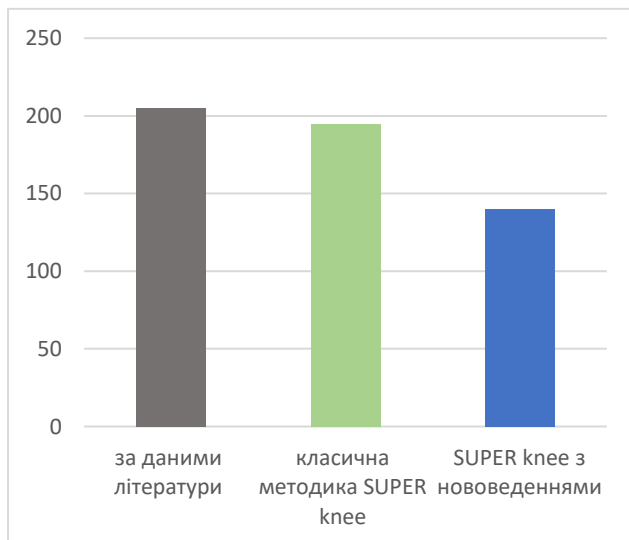


Рис. 6.5. Графік порівняння тривалості проведення втручання в хвилинах

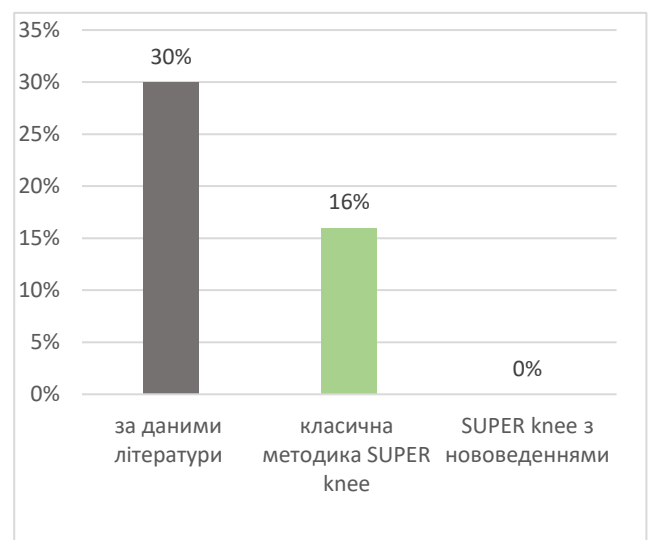


Рис. 6.6. Графік порівняння частоти шкірних ускладнень після операції

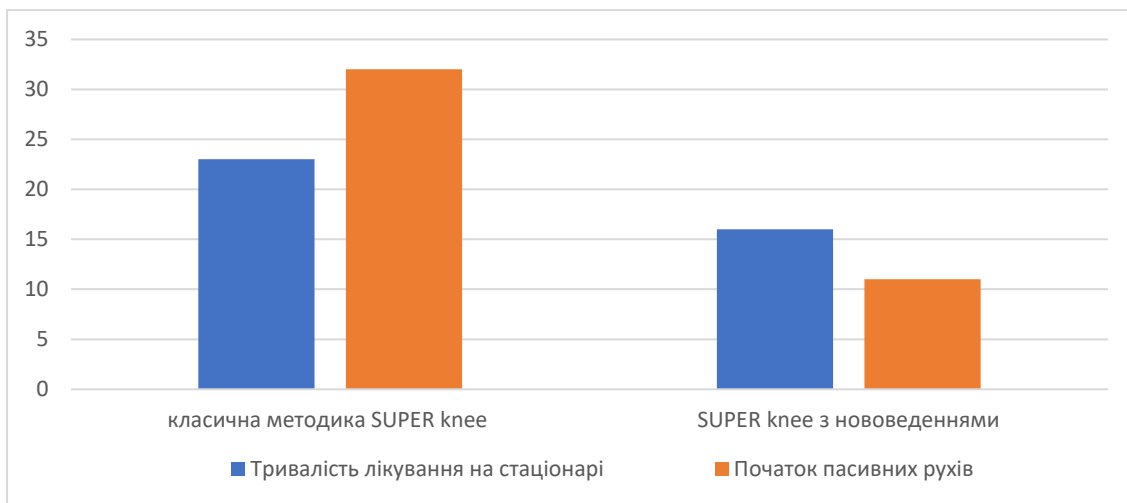


Рис. 6.7. Графік порівняння частоти прояву бокової нестабільності у КС

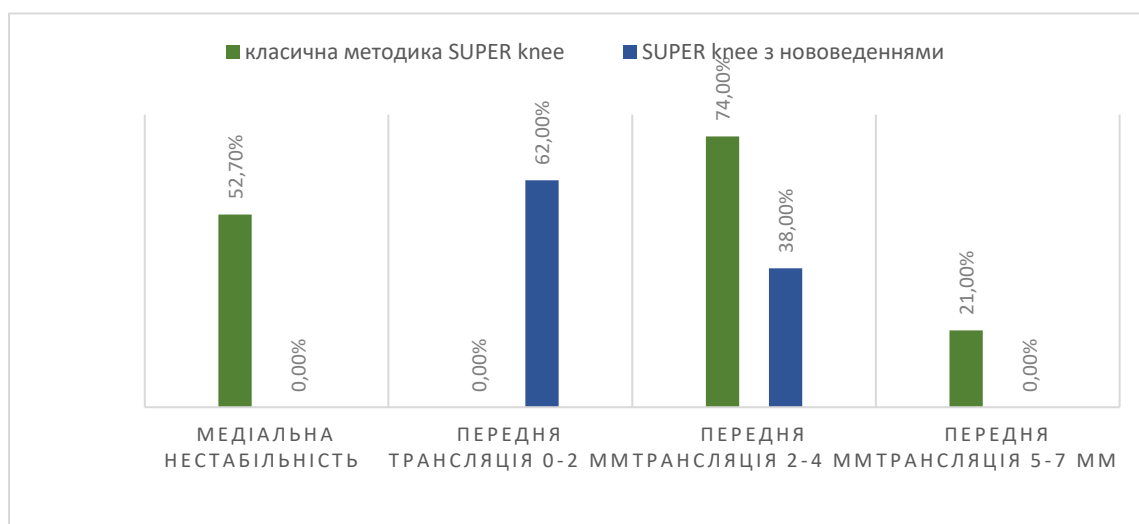


Рис. 6.8. Графік порівняння тривалості перебування на стаціонарному лікуванні після оперативного втручання та термін початку пасивних рухів у днях

Матеріали розділу 6 подані в наступних публікаціях

1. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 41-47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

2. Якушкин Є. Ю., Хмизов С. О. Аналіз ефективності методики SUPER knee за D. Paley та модифікацій до неї при нестабільності колінного суглоба при вроджених повздожних вадах розвитку нижніх кінцівок. *Актуальні*

*проблеми ортопедії та травматології* : ювілейний зб. наук. пр. [Інтернет]. / Харків, 2024. С. 131-137. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.

## РОЗДІЛ 7.

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ДІТЕЙ З НКС ЗА ВПВРНК ДО ТА ПІСЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ

На підставі аналізу літературних джерел та оцінювання сучасних підходів до лікування НКС за ВПВРНК виявлено відсутність уніфікованої програми реабілітації, спрямованої на оптимальне відновлення нервово-м'язового контролю (НМК) та динамічної стабільності КС. Із метою подолання цієї прогалини було вперше в Україні розроблено спеціалізовану реабілітаційну програму, кінцевою метою якої є формування в дитини здатності самостійно організувати необхідний динамічний нервово-м'язовий контроль і стабільність суглобів за умов нових або складних рухових патернів. Особлива увага приділялася створенню умов для усвідомленого балансу між потенційними ризиками та користю під час набуття нового рухового досвіду, а також розширенню адаптаційних можливостей дітей, які відновлюються після оперативного втручання. З огляду на це, в основу реабілітаційної програми закладено два стратегічних завдання.

Нервово-м'язовий контроль – це спроможність ініціювати та координувати рухи шляхом регульованої нервово-м'язової активації, за якої системи зворотного (аферентного) та прямого (еферентного) зв'язку функціонують інтегровано на основі сукупності сигналів від різних рецепторів. Постуральний контроль, у свою чергу, відображає здатність підтримувати центр маси тіла в належній орієнтації в межах стабільної зони. Для його забезпечення нейромоторна система інтегрує три основні джерела сенсорної інформації: соматосенсорний зворотний зв'язок від периферичних рецепторів; зоровий аналіз; сигнали від вестибулярної системи.

Динамічна стабільність визначається як стійкість до постуральних зсувів і здатність зберігати або повертатися до початкової пози після раптового навантаження. Для колінного суглоба вона полягає в здатності долати раптове зміщення, викривлення чи зміну навантаження на нього, а

також залишатися стабільним за умови швидких змін зовнішніх чинників під час рухової активності.

Під час розробки реабілітаційної програми для дітей з НКС за ВПВРНК було застосовано вправи з наявних протоколів та рекомендацій (AOSSM, SICOT, OARSI, AWMF), які спрямовані на відновлення функції КС. Ефективність цих вправ підтверджується широким спектром позитивних результатів у сучасній літературі [35, 48, 59, 116, 217, 241].

Із запропонованих вправ обрано ті, що:

- є зрозумілими та доступними для дітей молодшого віку (у середньому 4,5 року за умов виконання ПСКС);
- дозволяють виконання ізольованих рухів кожною кінцівкою окремо, оскільки за ВПВРНК у дітей спостерігається різна довжина кінцівок, що ускладнює комплексне тренування;
- мають максимальну дієвість щодо розвитку динамічної стабільності та нервово-м'язового контролю.

Зважаючи на наведені положення та літературні дані, нами був сформований первинний варіант комплексу вправ. Його апробовано на 10 дітях без патології КС, для перевірки сприйняття програми. На підставі отриманих результатів та обробки даних опитувань і функціональних тестів було внесено корективи й розроблено рекомендації для фізичної реабілітації.

1. Перші кроки реабілітації слід починати до операції втручання. Практичний досвід засвідчує, що діти, які отримали базові навички вправ до операції, швидше та ефективніше відновлюються у післяопераційний період.

2. Передопераційна підготовка має передбачати оптимальний баланс між первинним опануванням та закріпленням вправ і надмірним тренуванням. Надмірне навантаження посилює васкуляризацію та може збільшувати інтраопераційну крововтрату й тривалість післяопераційного відновлення.

3. Залучення фахівця, що має досвід роботи з дітьми. Оскільки оперативне лікування часто проводиться у ранньому віці, дітям складно пояснити та закріпити правильне виконання вправ. Саме тому на початковому

етапі реабілітації необхідно залучати фізичного терапевта (реабілітолога), обізнаного в особливостях дитячої психології. Виконання вправ в ігровій формі підвищує прихильність дітей до лікування.

4. Різниця в підході до реабілітації в дітей після оперативного та консервативного лікування полягає переважно в тому, що другі не потребують етапу відновлення після хірургічного втручання.

### **Резюме до розділу 7**

На основі аналізу літератури та сучасних підходів до лікування НКС за ВПВРНК виявлено відсутність уніфікованої реабілітаційної програми, орієнтованої на відновлення динамічної стабільності та нервово-м'язового контролю. Для розв'язання цієї проблеми вперше в Україні нами було розроблено спеціалізовану програму, яка враховує потреби дітей в ранньому віці й спрямована на усвідомлене формування балансу між руховою активністю і безпекою суглобів. Ключовими стратегічними задачами стали забезпечення адекватного НМК (з урахуванням соматосенсорних, зорових та вестибулярних стимулів) і розвиток динамічної стабільності КС. Для тренування дитини добирали вправи, які можна виконувати з урахуванням особливостей різної довжини кінцівок і раннього віку. Програму апробовано на групі дітей, які перенесли оперативні втручання за методикою ПСКС, і вона підтвердила ефективність у прискоренні післяопераційного відновлення. Зроблено висновок про доцільність застосування реабілітаційних заходів ще до операції для кращого опанування вправ і скорочення загального часу відновлення. Особливу увагу приділяли залученню фахівця, обізнаного в дитячій психології, що дає змогу проводити заняття в ігровій формі та підвищувати мотивацію дитини. Результативність створеної програми проаналізовано в клінічному дослідженні. Детально реабілітаційна програма наведена в Додатку В.

Матеріали до розділу 7 падані в наступних публікаціях:

Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 41-47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

**РОЗДІЛ 8.**  
**АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛІНІЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ**  
**РОЗРОБЛЕНИХ ПІДХОДІВ ДО ЛІКУВАННЯ НКС ЗА ВПВРНК**  
**8.1. Клінічні тести**

Проведено спостереження 64 дітей з НКС за ВПВРНК і обстежено 154 КС, серед яких 64 здорових і 90 – із наявністю НКС (19 КС – А<sub>1</sub>, 26 КС – А<sub>2</sub> – двічі та 19 група Б), розподіл кількості обстежень наведено в табл. 8.1.

*Таблиця 8.1*

**Розподілення кількості обстежених КС відносно груп дослідження**

Група дослідження	А <sub>1</sub> 19 пацієнтів	А <sub>2</sub> 26 пацієнтів	Б 19 пацієнтів	Разом
КС без патології	19 КС	26 КС	19 КС	64 КС
НКС за ВПВРНК	19 КС	52 КС (26*2)	19 КС	90 КС
Разом	38 КС	78	38 КС	154 КС

На основі отриманих клінічних даних встановлено наступні особливості. У дітей із ВПВРНК мануальне дослідження колінного суглоба на предмет НКС, як правило, безболісне, що пояснюється низьким тонусом м'язів та їх невеликою перешкодою під час огляду. Під час зміщення гомілки в колінному суглобі з НКС, у разі ВПВРНК, виявляється «м'яка» точка зупинки.

У тесті «передня висувна шухляда» окрім відчуття зміщення гомілки відносно стегна, візуально спостерігається формування заглиблення (ямки) між нижнім краєм наколінка та горбистістю великогомілкової кістки. Трансляція до 2 мм часто реєструвалася в здорових КС, тому вона прийнята нами за норму.

Ураховуючи результати тесту «передньої висувної шухляди» у поєднанні з показниками анкети Pedi-IKDC, нами було виділено чотири групи зміщення (табл. 8.2): 1 – 0-2 мм – стабільні (середній результат Pedi-IKDC > 756); 2 – 2-4 мм – клінічно наявна нестабільність, яка слабо проявляється симптоматично (середній результат Pedi-IKDC – 65–756); 3 – 5-7 мм – нестабільність, що спричиняє незначне обмеження активності (середній результат Pedi-IKDC – 45–

65б); 3 – понад 7 мм – виражена нестабільність із суттєвим дискомфортом та обмеженням активності (середній результат Pedi-IKDC < 456).

Таблиця 8.2

**Показники тесту «висувної шухляди» порівняно з результатами  
Pedi-IKDC**

Група	Стосовно періоду оперативного лікування	Загальна кількість КС	I	II	III	IV
Здорові	відсутнє	64	64 (100 %)	–	–	–
A <sub>1</sub>	після	19	–	14 (74 %)	4 (21 %)	1 (5 %)*
A <sub>2</sub>	до	26	–	–	8 (31 %)	18 (69 %)
	після	26	16 (62 %)	10 (38 %)	–	–
Б	відсутнє	19	–	2 (10 %)	3 (16 %)	14 (74 %)

Примітка: дитина отримала травму після оперативного лікування внаслідок падіння під час гри у футбол, що призвело до розриву трансплантатів (підтверджено МРТ дослідженням).

Аналіз результатів тестів на бокову стабільність КС дав змогу виділити (табл. 8.3) дві групи: з негативним тестом – відсутнє «бокове відкриття»; з умовно позитивним – наявне незначне бокове відкриття з «м'якою» точкою зупинки. Усім пацієнтам групи A<sub>2</sub>, яким проведено оперативне втручання за модифікованою методикою ПСКС після хірургічного втручання «бокове відкриття» не виявлялося (тест негативний).

Таблиця 8.3

**Результати тестів на бокову стабільність КС**

Група	Усього КС	Відношення до періоду оперативного лікування	Негативний тест	Позитивним тест
Здорові	64	відсутнє	64	-
A <sub>1</sub>	19	після	9	10
A <sub>2</sub>	26	до	4	22
		після	26	-
Б	19	відсутнє	4	15

## 8.2. Рентгенологічне обстеження

Усі здорові КС відповідали параметрам вікової норми, визначеним у попередньому дослідженні (табл. 4.5). Показники 62 КС із виявленою нестабільністю суттєво відхилялися від встановлених норм. Розподілення результатів виміру індексів параметрів МЯСК на рентгенограмах у проєкції тонелю наведено на рис. 8.1 – 8.3. Відповідно до наданих графіків видно, що параметри індексів здорових кінцівок знаходяться в діапазоні нормальних значень, а кінцівок із НКС за ВПВРНК мають широку розбіжність у більшу чи меншу сторону без перетину з нормальними параметрами.

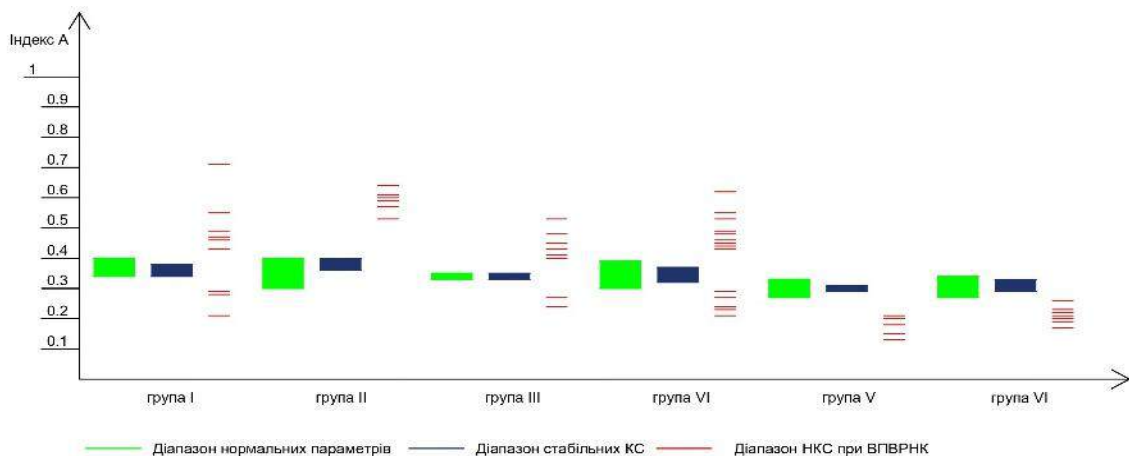


Рис. 8.1. Графік розподілення результатів індексу А в здорових КС та НКС у порівнянні з параметрами норми, параметри індексів здорових кінцівок знаходяться в діапазоні нормальних значень, а кінцівок з НКС за ВПВРНК мають широку розбіжність у більшу чи меншу сторону без перетину з нормальними

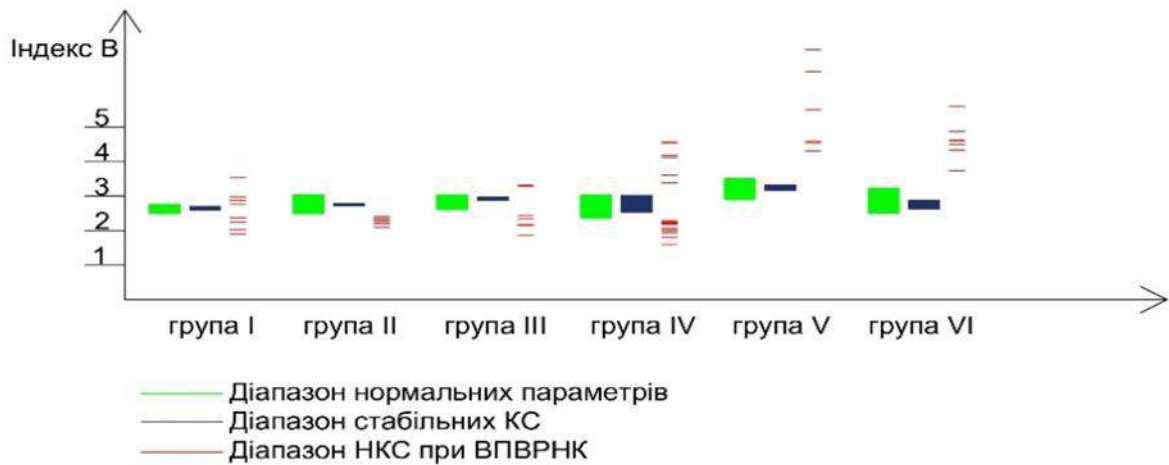


Рис. 8.2. Графік розподілу результатів індексу В у здорових КС та НКС у порівнянні з параметрами норми, параметри індексів здорових кінцівок знаходяться в діапазоні нормальних значень, а кінцівок із НКС за ВПВРНК мають широку розбіжність у більшу чи меншу сторону без перетину з нормальними параметрами

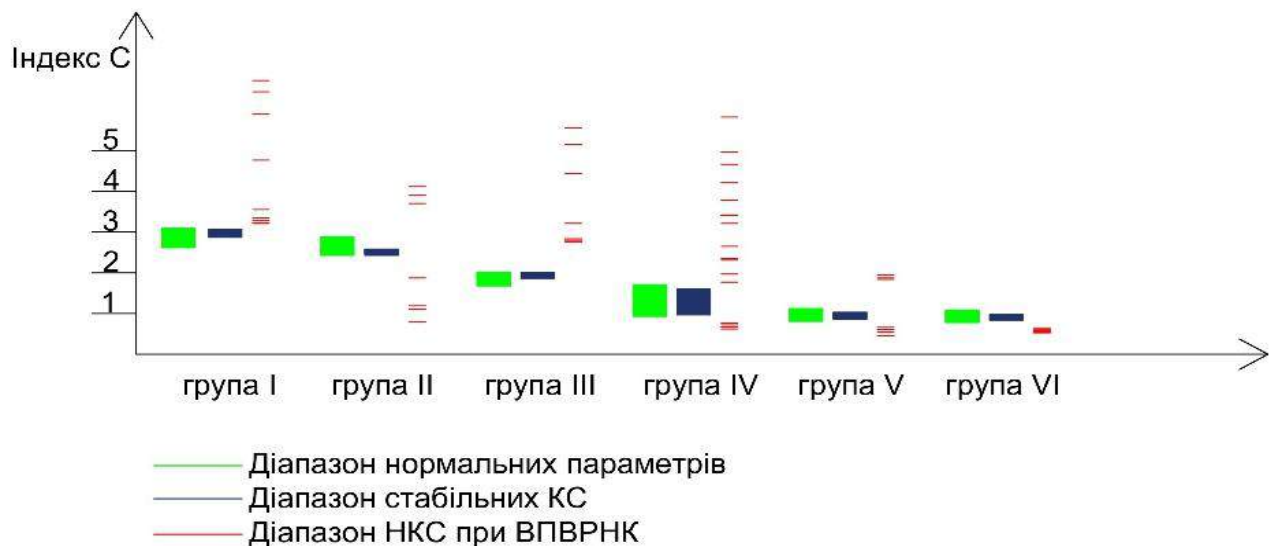


Рис. 8.3. Графік розподілення результатів індексу С у здорових КС та НКС у порівнянні з параметрами норми, параметри індексів здорових кінцівок знаходяться в діапазоні нормальних значень, а кінцівок із НКС за ВПВРНК мають широку розбіжність в більшу чи меншу сторону без перетину з нормальними параметрами

### 8.3. Анкетування Pedi-IKDC

Результати анкетування за Pedi-IKDC наведено в табл. 8.4, середні значення по групам дослідження різко не відрізнялися крім випадку пацієнта із групи А1, який зазнав травматичного пошкодження (розрив аутозв'язки) під час гри у футбол (адекватна фізична травма).

Таблиця 8.4

#### Результати анкетування за Pedi-IKDC учасників дослідження

Група	Стосовно періоду оперативного лікування	Спостереження (n)	Середня арифметична (M)	Медіана (Me)	Стандартне квадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт варіації (Cv)	Середня похибка середньої арифметичної (m)
A <sub>1</sub>	після	19	64,05	64	1,47	2,30 %	0,35
A <sub>2</sub>	до	26	41,73	42	2,24	5,36 %	0,45
	після	26	78,04	78	2,59	3,32 %	0,53
Б	відсутнє	17	35,71	36	1,53	4,29 %	0,38
Після операції (A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> )		44	72,01	75	7,25	10,07	1,09
A <sub>2</sub> до операції та група Б		43	39,35	40	3,35	8,97	0,54

Проаналізувавши отримані результати та провівши розрахунки за допомогою t- критерію Стьюдента, можна стверджувати наступне:

1. Самопочуття дітей після проведення хірургічної стабілізації значно краще ніж у пацієнтів із НКС до лікування та з консервативним лікуванням. Значення непарного t-критерію = 26,84; число ступенів свободи f=85. Критичне значення t- критерію Стьюдента = 1,99; за рівня значимості  $\alpha=0,05$ ; різниця статистично значуща ( $p=0,0$ ).

2. Найкращий результат зафіксовано в групі A<sub>2</sub> після проведеного лікування та реабілітації.

У порівнянні з групою  $A_1$  значення непарного t- критерію = 24,89; число ступенів свободи  $f=42$ . Критичне значення t- критерію Стьюдента = 2,018; за рівня значимості  $\alpha=0,05$ ; різниця статистично значуща ( $p=0,0$ ).

3. У середині групи  $A_2$  різниця показників до- та після оперативного втручання і реабілітації також має статистично значущий характер: парний t- критерій = 53,379,  $f=24$ ; t-крит = 2,064,  $p = 0,000$ .

4. Стан НКС прогресує зі зростанням дитини та підвищенням її фізичної активності. Порівняння групи  $A_2$  (до лікування) з групою Б та порівняння з групою  $A_1$  показало непарний  $t = 10,22$  за умов  $f=41$  (t-крит = 2,021,  $\alpha=0,05$ ,  $p=0,00000$ ), що узгоджується з раніше опублікованими даними [113, 281, 282, 257].

#### **8.4. Електроміографія**

Із метою визначення ефективності реабілітаційного лікування та відстеження ступеня його впливу на нервово-мязовий контроль проводилося електронейромиографічне дослідження чотириголового м'яза стегна як основного його стабілізатора й агоніста передньої схрещеної зв'язки.

Під час ЕНМГ та подальшої обробки результатів було визначено, що (-) позначає відставання параметрів ураженої кінцівки з ВПВРНК порівняно зі здоровою, а (+) – їх збільшення (табл. 8.5).

### Результати ЕНМГ дослідження

Група пацієнтів		Макс. ампл	Середн. ампл	Сум. ампл	Середн. част.	Ампл./част.
А <sub>1</sub>		-15,2 %	-18,7 %	-18,5 %	-19,4 %	-22,3 %
А <sub>2</sub>	до операції	-26,8 %	-27,1 %	-27,6 %	-26,9 %	-27,7 %
	після операції	-6,9 %	-5,4 %	+5,5 %	+6,4 %	-7,2 %
Б		-34,4 %	-31,2 %	-34,2 %	-29,8 %	-31,6 %

Аналіз отриманих даних засвідчив, що після проведеної ПСКС і курсу реабілітації в групі А<sub>2</sub> відбувається суттєве поліпшення показників: максимальна амплітуда зросла на 19,9 %;

- середня амплітуда зросла на 21,7 %;
- сумарна амплітуда збільшилася на 33,1 % та перевищила аналогічний параметр здорової кінцівки на 5,5 %;
- середня частота підвищилася на 33,3 % та перевищила показник здорової кінцівки на 6,4 %;
- відношення «амплітуда/частота» зросло на 20,5 %.

Зазначені зміни демонструють ефективність розробленої методики лікування та реабілітації.

### 8.5. Клінічні приклади

Клінічний приклад 1. Батьки трирічного пацієнта А. (Л (Додаток Ж №39, історія хвороби №100077) звернулися у жовтні 2021 р. до дитячого відділення ДУ «ПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» зі скаргами на порушення ходи та кульгання на ліву нижню кінцівку, візуальне її вкорочення й деформацію. Клінічний огляд виявив НКС, вкорочення лівої гомілки на 3 см, а

також деформацію гомілки та стопи. Рентгенологічне дослідження підтвердило аномалії кістково-суглобового апарата. На рисунку 8.4 відображено фотовідбиток у фронтальній проєкції, а на рисунку 8.5 фотовідбиток рентгенограми обох КС у проєкції тонелю.

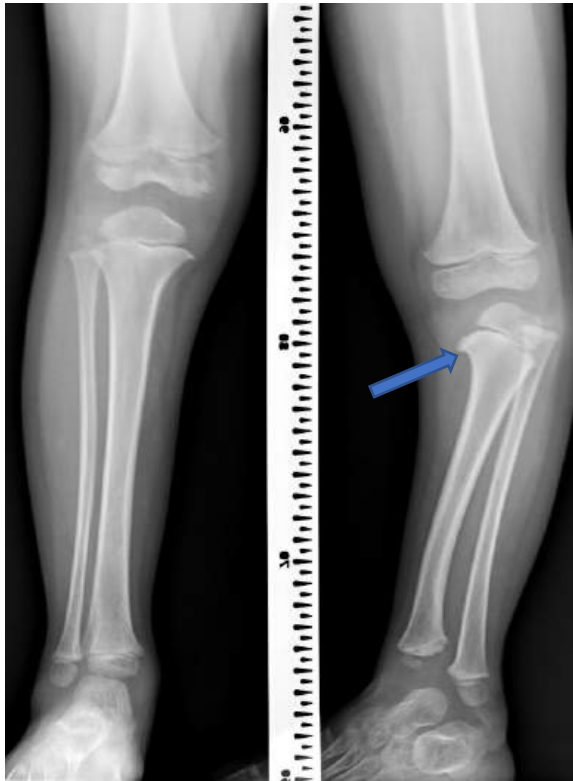


Рис. 8.4. Фото рентгенограми НК у фронтальній проєкції пацієнта А., 3 роки (Додаток Ж №39, історія хвороби №100077). Стрілкою відображено деформацію проксимального відділу великогомілкової кістки притаманої тібіальній гемімелії.



Рис. 8.5. Фото рентгенограми обох КС у проєкції тонелю пацієнта А., 3 роки (Додаток Ж №39, історія хвороби №100077). Стрілкою відображено порушення розвитку МЯСК через агенезію схрещених зв'язок, що супроводжує тібіальну гемімелію

Пацієнту діагностовано: вроджена вада розвитку лівої н/кінцівки. Аплазія схрещених зв'язок, нестабільність лівого колінного суглоба. Тібіальна гемімелія тип ІА за D. Paley, вкорочення гомілки 3.0 см. Варусна деформація лівої н/кінцівки на рівні колінного суглоба. Деформація лівого надп'яtkово-гомілкового суглоба. Порушення функції опори та ходи.

Було запропоновано багатоетапну тактику лікування, першим етапом якої стала ПСКС за модифікованою методикою SUPER knee (D. Paley) та медіалізація наколінка за Yamamoto. Операцію виконано 27.10.2021 після підготовчого етапу реабілітації (фаза 0). Інтраопераційно підтверджено аплазію LGS (рис. 8.6). Післяопераційний період минув без ускладнень; дренаж знято наступного дня, рана загоїлася первинним натягом.

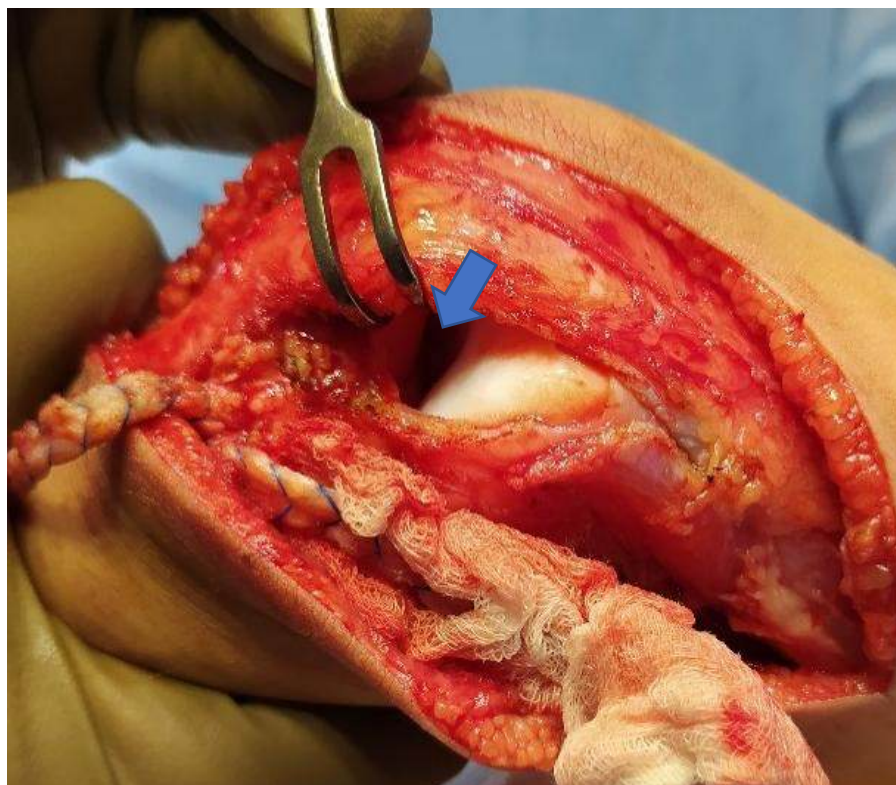


Рис. 8.6. Інтраопераційний знімок КС пацієнта А., 3 роки (Додаток Ж №39, історія хвороби №100077), на якому візуалізується вроджена аплазія LGS (вказано стрілкою) зі супутнім недорозвиненням МЯСК

Пасивні рухи в коліні розпочато на 14-ту добу під керівництвом інструктора ЛФК, виписку здійснено на 17-ту добу. На контрольних оглядах через 1 і 6 місяців ускладнень не виявлено, КС залишався стабільним. Через

безпекову ситуацію, спричинену повномасштабним вторгненням РФ, пацієнт був оглянутий онлайн у 2024 р.: скарг на стабільність суглоба не виявлено.

Клінічний приклад 2. Батьки трирічного пацієнта Б. (Додаток Ж №40, історія хвороби №100115) звернулися у жовтні 2021 р. зі схожими скаргами: порушення ходи, кульгання та вкорочення лівої НК. Огляд підтвердив НКС, вкорочення лівого стегна на 3 см і вальгусну деформацію КС. Рентгенологічні знімки наведено на рис. 8.7 та 8.8.



Рис. 8.7. Фото рентгенограми НК у фронтальній проєкції пацієнта Б., 3 роки (Додаток Ж №40, історія хвороби №100115), на якому наявні ознаки **CFD** (вкорочення стегнової кістки та недорозвинення

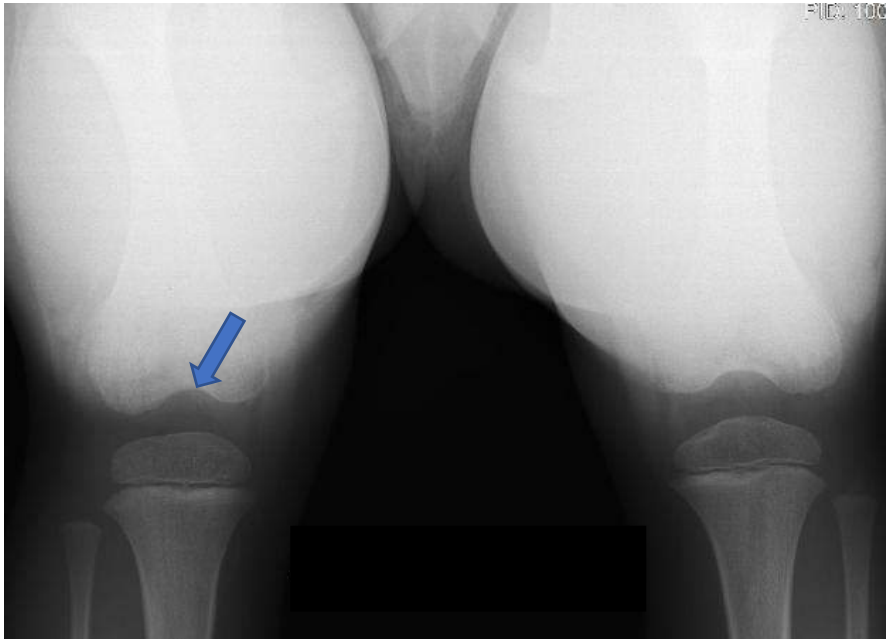


Рис. 8.8. Фото рентгенограми обох КС у проекції тунеля пацієнта Б., 3 роки (Додаток Ж №40, історія хвороби №100115). Стрілкою позначено ознаки недорозвинення МЯСК

Діагноз: вроджена повздовжня вада розвитку лівої НК (CFD). Аплазія схрещених зв'язок, нестабільність КС, вкорочення стегна 3,0 см, вальгусна деформація лівої НК на рівні коліна.

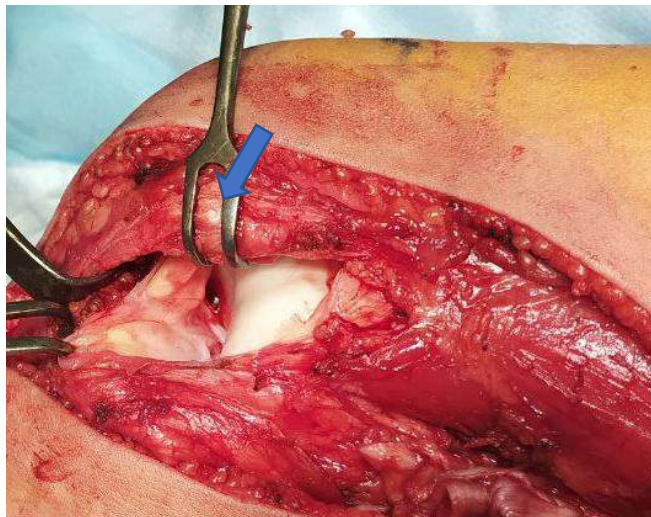


Рис. 8.9. Інтраопераційний знімок КС пацієнта Б., 3 роки (Додаток Ж №40, історія хвороби №100115), на якому візуалізується вроджена аплазія LGC(вказано стрілкою) з супутнім недорозвиненням МЯСК

Після підготовчої фази 0 (реабілітаційні вправи) 02.11.2021 пацієнту проведено ПСКС за методикою SUPER knee (D. Paley) у поєднанні з медіалізацією наколінка за Yamamoto, інтраопераційно підтверджено аплазію LGC (рис. 8.9).

Післяопераційний період минув без ускладнень; пасивні рухи розпочато на 15-ту добу. Виписка – на 16-ту. Контрольні огляди через 1 і 6 місяців показали відсутність ускладнень і задовільну стабільність суглоба. У 2024 р. пацієнт пройшов онлайн-огляд, під час якого скарг на стабільність КС не висловлював. Повідомлено, що також було проведено корекцію різної довжини кінцівок за методикою керованого росту.

Клінічний приклад 3. Пацієнт 3, 2008 р.н. (Додаток Ж №38, історія хвороби №91376) з 2017 р. перебуває під наглядом дитячого відділення ДУ «ПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» з початковим діагнозом «вроджена вада розвитку лівої н/кінцівки, вкорочення та деформація стегна і гомілки, фібулярна гемімелія I тип за D. Paley зліва, порушення ходи». Із 2017 до 2019 р. пацієнту послідовно виконували низку оперативних втручань, спрямованих на корекцію деформацій та вкорочення НК (резекція малогомілкового тяжа, тимчасове блокування зони росту, остеотомія, монтаж і демонтаж стрижневого АЗФ, ахілотомія й ін.).

У липні 2021 р. дитина повторно звернулася зі скаргами на біль, відчуття зсуву та «підкошування» в КС під час фізичних навантажень. Симптоми посилилися поступово після завершення останнього етапу лікування, коли пацієнт почав повноцінно навантажувати прооперовану НК. Клінічний огляд виявив НКС, вальгусну деформацію та післяопераційні рубці. Рентгенологічно виявлено вади розвитку на рівні колінного суглоба (рис. 8.10 та 8.11).

Діагноз: вроджена повздовжня вада розвитку лівої НК. Агенезія схрещених зв'язок, нестабільність КС, фібулярна гемімелія It за D. Paley зліва, вкорочення та деформація стегна і гомілки, genu valgum зліва, стан після багатоетапного хірургічного лікування.



Рис. 8.10. Фото рентгенограми НК у фронтальній проєкції пацієнта З., 14 років (Додаток Ж №38, історія хвороби №91376). Стрілкою вказано недорозвинення малогомілкової кістки (фібулярна геміmelія)

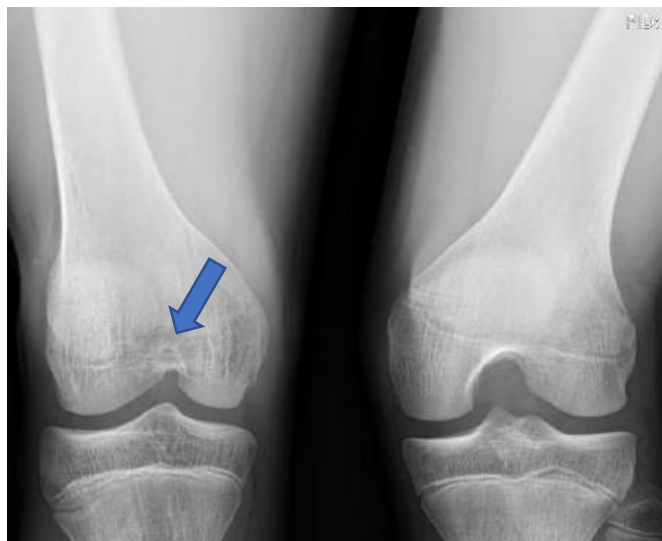


Рис. 8.11. Фото рентгенограми обох КС у проєкції тунелю пацієнта З., 14 років (Додаток Ж №38, історія хвороби №91376). Стрілкою позначено ознаки недорозвинення МЯСК

Для стабілізації КС у липні 2021 р. виконано ПСКС за модифікованою методикою SUPER knee (D. Paley). Післяопераційний період перебігав без ускладнень; дренаж знято наступного дня, пасивні рухи розпочато на 8-му добу. Виписка – на 10-ту. Через 4 місяці відзначено стабільність КС, проте зберігалася вальгусна деформація, яку надалі коригували блокуванням дистально-медіальної зони росту лівої стегнової кістки (30.11.2021). У 2024 р. пацієнт пройшов онлайн-огляд: скарг на стабільність КС не виявлено.

Отже, наведені клінічні приклади підтверджують, що своєчасна діагностика й лікування НКС у разі ВПВРНК є ключовими чинниками успішного багатоетапного лікування вроджених дефектів і вкорочень нижньої кінцівки.

### **Резюме до розділу 8**

За підсумками аналізу отриманих результатів встановлено, що впровадження реабілітаційного комплексу призвело до підвищення середнього бала Pedi-IKDC: у групі A<sub>1</sub> – на 11,8 %, а в групі A<sub>2</sub> – на 47,4 % (детальна інформація наведена у розділі 8). Результати ЕНМГ виявили істотне поліпшення параметрів максимальної та середньої амплітуд, а також амплітуди на частоту, які лише незначно відрізнялися від показників здорової кінцівки. Також зареєстровано незначне підвищення сумарної амплітуди та середньої частоти порівняно зі здоровою кінцівкою.

Запропоновані зміни до методики SUPER knee суттєво поліпшили результати оперативного лікування за рахунок: скорочення загальної тривалості втручання; зменшення обсягу травмування м'яких тканин; оптимізації техніки формування й фіксації аутозв'язок.

Усе це сприяє можливості раннього початку реабілітації та відновлення рухів у колінному суглобі, а також забезпечує надійну біомеханіку й стабілізацію КС в умовах подальшого росту дитини та збільшення навантаження на кінцівку. Загалом, за результатами 26 операцій із упровадженими змінами вдалося знизити тривалість оперативного втручання на 31,7 % порівняно з літературними даними (діаграма змін відображена на

рисунку 6.5), звести до нуля кількість шкірних ускладнень (діаграма змін відображена на рисунку 6.6) і підвищити стабільність колінного суглоба (діаграма змін відображена на рисунку 6.7). Крім того, скоротився середній термін перебування пацієнта в стаціонарі з 23 днів до 16 (зменшення на 30,4 %) та істотно прискорився період післяопераційної реабілітації: пасивні рухи в колінному суглобі розпочиналися в середньому на 11-ту добу після операції замість 32-ї. Запровадження цих змін у 26 подальших операціях призвело до скорочення часу втручання (зменшення обсягу тканинного розтину, гемостазу й ушивання), зниження частоти ускладнень загоєння (0 % випадків некрозів чи розходження ран) та покращення косметичного ефекту (відсутність гіпертрофічних післяопераційних рубців).

Зміни, внесені в методику ПСКС, підвищили стабільність КС порівняно з класичною SUPER knee, про що свідчить відсутність медіальної нестабільності та менший ступінь передньої трансляції у групі A<sub>2</sub>.

У пацієнтів після реконструкції ЗКА не виявлено ускладнень зі сторони КС під час наступних етапів лікування (зокрема, дистракції кінцівки за допомогою АЗФ).

Введені модифікації до класичної процедури SUPER knee та розроблена програма реабілітації суттєво покращили результати лікування НКС, що підтверджується показниками Pedi-ІКДС.

Параметри МЯСК КС за ВПВРНК із НКС значно відхилялися від нормальних значень.

Запропонована програма реабілітації підтвердила ефективність, про що свідчить позитивна динаміка результатів опитування Pedi-ІКДС і даних ЕНМГ.

НКС у дітей із ВПВРНК має тенденцію до прогресування зі збільшенням віку й активності, що зумовлює зростання навантаження на КС та виснаження компенсаторних механізмів. З урахуванням сучасних можливостей подовження ураженої кінцівки (корекція деформацій, блокування зони росту тощо) саме нестабільність колінного суглоба може виявитися ключовим чинником, який обмежує подальшу активність і вимагає специфічного хірургічного та

реабілітаційного підходу. Це повністю відповідає раніше опублікованим даним [113, 281, 282, 257].

Матеріали розділу 8 неведені в наступних публікаціях

1. Yakushkin, Y., Katsalap, Y., & Khmyzov, S. (2023). Validation of Pedi-IKDC scale and intercultural adaptation to Ukrainian language. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3-4), 97-101. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-497-101>.
2. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Zlatnik, R. (2024). Parameters of the intercondylar fossa of the femur in children in normal conditions and with congenital malformations of the lower limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2, 61–68. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024261-68>.
3. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 4, 41–47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

## Узагальнення проведених досліджень та їх основні результати

Із метою підвищення ефективності лікування НКС у дітей із ВПВРНК за рахунок удосконалення діагностики НКС, підвищення результативності хірургічної ПСКС та розробки реабілітаційної програми для таких пацієнтів. Було проведено низку досліджень, в яких було вивчено та вирішено встановлені для дисертаційної роботи завдання.

Для вдосконалення діагностики НКС за ВПВРНК та контролю ефективності подальшого лікування проведено транскультурну адаптацію опитувальника Pedi-IKDC, що визнаний «золотим стандартом» для суб'єктивного оцінювання рівня функціонування колінного суглоба в дітей. Адаптацію виконано за згоди правовласника Pedi-IKDC – AOSSM (American Orthopaedic Society for Sports Medicine). Використання t-критерію Стьюдента засвідчило високу якість проведеної адаптації та відсутність статистично значущих відмінностей порівняно з результатами світових досліджень ( $t=0,04$  за  $f=1969$ ; критичне значення  $t=1,972$ ;  $\alpha=0,05$ ;  $p=0,966362$ ). Таким чином, Pedi-IKDC рекомендовано застосовувати для дітей із патологією колінного суглоба як у клінічній, так і в дослідницькій практиці.

Для покращення діагностики НКС за ВПВРНК, зокрема для раннього та рутинного виявлення вад закладки й розвитку LGS, проведено дослідження рентгенологічних параметрів розвитку МЯСК у дітей різного віку. Вимірювання параметрів МЯСК здійснювали згідно з методикою Manner з аналізом висоти ямки від суглобової щілини до вершини купола, а також ширини ямки та дистального відділу стегнової кістки, паралельно суглобовій щілині на рівні підколінної борозни. Утім, у пацієнтів молодших за 10 років візуалізація підколінної борозни часто була неможливою, що зумовило модифікацію методики вимірів: для визначення ширини дистального відділу стегнової кістки та МЯСК вимірювали розміри на рівні суглобової щілини з продовженням лінії ямки по внутрішній поверхні латерального виростка (за потреби). Під час виконання рентгенографії застосовано методику Холмблада.

Для стандартизації оцінки результатів уведено індекси (А, В, С), які відображають співвідношення ширини МЯСК до ширини виростків стегнової кістки та навпаки. Дані рентгенографії зіставлено з результатами КТ і МРТ. Усього досліджено 358 колінних суглобів (КС) у 217 дітей: 105 дітей (161 КС) без патології кінцівки та 112 дітей (197 КС) з ВПВРНК, у тому числі 36 дітей (36 КС) із НКС. Проведено 90 досліджень методом рентгенографії (177 КС), серед яких 112 КС без патології кінцівок, 65 — із ВПВРНК (21 випадок НКС). Виконано 86 КТ досліджень (29 КС без патології та 111 із ВПВРНК, де 6 мали НКС і перенесли операцію SUPER knee), а також проаналізовано 41 МРТ (20 КС без уродженої патології та 21 із ВПВРНК, з яких 9 пацієнтів із НКС в анамнезі, яким також виконували хірургічне втручання). За допомогою t-критерію Стьюдента підтверджено відсутність статистично значущої різниці між результатами Rg, КТ і МРТ. Тож КТ не рекомендується як рутинний метод діагностики НКС за ВПВРНК через високі економічні й технічні витрати та підвищене променеве навантаження. Проведення КТ доцільне лише за складних деформацій суглобових поверхонь кісток колінного суглоба.

Для поглиблення знань щодо біомеханіки КС за наявності патології LGC за ВПВРНК та пошуку шляхів покращення результатів ПСКС проведено експериментальне моделювання. Установлено, що агенезія LGC спричиняє підвищення рівня напружень як у суглобових поверхнях (наприклад, за нормальних умов показники напружень у задньому відділі стегнової кістки становлять 12,2 МПа, а в передньому — 11,5 МПа; за агенезії LGC вони зростають приблизно втричі: до 39,4 та 18,6 МПа відповідно), так і в задній схрещеній зв'язці КС (за норми PCL — 11,8, ACL — 5,3, MCL — 7,9, LCL — 4,9 МПа; за агенезії LGC ці показники для MCL збільшуються до 12,8, а для LCL — до 9,1 МПа). Відновлення ЗКА КС за методикою SUPER knee за D. Paley дає змогу знизити рівень напружень у кісткових структурах за умови відсутності зв'язок (напруження в задній частині стегнової кістки становить 27,5 МПа, у передній – 3,5).

Аналізуючи наведені дані, було виявлено збільшення відносної деформації медіальної зв'язки КС порівняно з іншими зв'язками після виконання SUPER knee, що відповідає позитивним клінічним тестам на бокову стабільність (під час моделювання нормального КС деформація LCL становила 2 %, MCL — 3 %, ACL — 2 %, PCL — 4 %, за агенезії LGC — LCL 3 %, MCL - 5 %.; у моделі SUPER knee — LCL 2 %, MCL-3,2 %, ACL-2 %., PCL-0 %; після корекції ходу аутозв'язок напруження MCL зменшилося до 2,9 %). Експериментально встановлено оптимальний спосіб проведення новостворених аутозв'язок під час SUPER knee з метою зменшення ступеня навантаження на бокову зв'язку. Отримані дані використано під час розробки вдосконалень методики ПСКС.

За літературними джерелами, середня тривалість оперативного втручання за методикою SUPER knee становить 3 години 25 хвилин, а частота шкірних ускладнень (некроз шкіри) сягає 30 %. Аналіз 19 оперативних втручань, виконаних із 2008 по 2019 рр. у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», виявив середню тривалість операції 3 години 15 хвилин та частоту шкірних ускладнень 16 %. Серед цих хворих у 52,7 % розвинулася медіальна нестабільність КС (незначне бокове відкриття зі «стертим» відчуттям кінцевої точки). Під час проведення тесту «передньої висувної шухляди» 74 % пацієнтів мали передню трансляцію 2–4 мм, а 21 % — 5–7 мм. Для зменшення кількості ускладнень та покращення результатів лікування було впроваджено такі зміни до методики SUPER knee:

- Зміна способу хірургічного доступу та забору трансплантата з метою зменшення розтину шкіри, що знижує травматизацію м'яких тканин, час на гемостаз і ушивання рани;
- Оптимізація прошивання аутозв'язок для покращення їх механічних властивостей і скорочення часу формування трансплантата.
- Модифікація розташування та фіксації аутозв'язок на підставі результатів математичного моделювання.

Зазначені вдосконалення застосовано під час 26 оперативних втручань. Під час контрольного огляду через 5 місяців після операції (тест «передньої висувної шухляди») 62 % пацієнтів мали передню трансляцію 0–2 мм, а 38 % — 2–4 мм. До втручання у 31 % хворих вона перевищувала 5–7 мм, а у 69 % — навіть більше 7 мм. Середня тривалість операції зменшилася до 2 годин 20 хвилин, що на 31,7 % менше від літературних даних. Застосовані зміни дозволили повністю усунути шкірні ускладнення (0 % проти попередніх 16 %) і суттєво покращити стабільність КС.

Подальше відновлення фізичної активності після оперативного втручання є важливим для закріплення його позитивного результату. Зважаючи на відсутність спеціалізованої програми реабілітації для дітей із НКС за ВПВРНК, нами було розроблено відповідний комплекс заходів на підставі рекомендацій AOSSM, SICOT, OARSI, AWMF і типових протоколів відновлення після травматичних уражень колінного суглоба за умови нормальної анатомії. Для дітей із ВПВРНК відібрано вправи, які:

- прості для розуміння та виконання в молодшому віці (середній вік виконання ПСКС становив 4,5 роки);
- можуть виконуватися ізольовано кожною кінцівкою (з огляду на різну довжину нижніх кінцівок);
- максимально сприяють розвитку динамічної стабільності та нервово-м'язового контролю.

Для визначення ефективності цієї програми реабілітації досліджено показники Pedi-IKDC у дітей, які перенесли ПСКС у період з 2008 по 2019 рр., до й після реабілітації. Згідно з отриманими даними, середній бал Pedi-IKDC у післяреабілітаційному періоді зріс на 11,8 %. Надалі розроблені рекомендації було застосовано для 26 пацієнтів, яким виконано оперативне втручання за удосконаленою методикою SUPER knee. До операції та через 5 місяців після неї всім пацієнтам проводили оцінку за Pedi-IKDC і електронеїроміографію м'язів нижніх кінцівок, особливу увагу преділено чотириголовому м'язу стегна, який виконує функцію «замка КС». За результатами ЕНМГ виявлено збільшення

максимальної амплітуди на 19,9 %, середньої амплітуди — на 21,7 %, сумарної амплітуди — на 33,1 % (із перевищенням показників здорової кінцівки на 5,5 %), середньої частоти — на 33,3 % (із перевищенням показників здорової кінцівки на 6,4 %) та співвідношення амплітуди до частоти — на 20,5 %. За даними Pedi-IKDC, спостерігалось підвищення середнього бала на 47,4 %, що підтверджує високу клінічну ефективність запровадженого реабілітаційного курсу.

Окрім того, проаналізовано можливість застосування УЗД як методу ранньої діагностики НКС за ВПВРНК (обстежено 64 пацієнти, 64 здорові КС і 64 КС з НКС за ВПВРНК). Результати показали недоцільність рутинного використання УЗД у віці до 8 років, оскільки LGS у цій віковій категорії практично не візуалізується.

На підставі отриманих результатів досліджень сформовано комплексну методику діагностики, оперативного та реабілітаційного лікування НКС за ВПВРНК. Її ефективність підтверджено в клінічних дослідженнях за участі 33 пацієнтів, серед яких 26 — із застосуванням удосконаленої методики SUPER knee та подальшої реабілітації, і 5 — лише з консервативними реабілітаційними заходами. Середня тривалість оперативного втручання зменшилася на 28,2 % порівняно з аналогічними втручаннями, виконаними у 2008–2019 рр. у тому ж відділенні, а частота післяопераційних шкірних ускладнень знизилася з 16 до 0 %. Крім того, скоротився середній термін перебування пацієнта в стаціонарі з 23 днів до 16 (зменшення на 30,4 %) та істотно прискорився період післяопераційної реабілітації: пасивні рухи в колінному суглобі розпочиналися в середньому на 11-ту добу після операції замість 32-ї. Під час контрольного огляду через 5 місяців не виявлено бокової нестабільності, а передньо-задня стабільність повністю відповідала нормі у 62 % випадків і становила 2–4 мм трансляції у 38 % (що не турбувало пацієнтів клінічно). До втручання 31 % хворих мав трансляцію 5–7 мм, а 69 % — понад 7 мм. Після проходження запропонованої реабілітаційної програми середній бал Pedi-IKDC зріс на 47,4 %. За даними ЕНМГ спостерігалось суттєве підвищення показників

максимальної та середньої амплітуди, а також збільшення амплітуди відносно частоти, що демонструє поліпшення нервово-м'язової координації та динамічної стабільності КС у дітей із ВПВРНК.

Таким чином, комплексний підхід до діагностики та лікування НКС за ВПВРНК із використанням поліпшеної техніки оперативного втручання, адаптованої реабілітаційної програми та валідованих методів оцінки (Pedi-ICDC, ЕНМГ) дає змогу досягти кращих функціональних результатів, скоротити період перебування у стаціонарі й зменшити кількість післяопераційних ускладнень. Отримані дані можуть стати підґрунтям для подальшого вдосконалення методів хірургічного та реабілітаційного лікування вродженої патології колінного суглоба.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено теоретичне узагальнення та нове вирішення актуального науково-практичного завдання – підвищення ефективності лікування нестабільності колінного суглоба (НКС) у дітей із вродженим вкороченням та вадами розвитку нижньої кінцівки. Цього досягнуто шляхом удосконалення діагностики НКС, покращення хірургічних методик стабілізації колінного суглоба та створення програми реабілітаційного лікування дітей з НКС за ВПВРНК. Усі поставлені завдання були виконані в повному обсязі, що дало змогу отримати такі основні результати:

1. **Проведено літературний аналіз сучасних методик лікування НКС у дітей із ВПВРНК.** Встановлено клінічну значущість НКС у дітей із ВПВРНК, обґрунтовано необхідність комплексного діагностичного підходу та адаптації сучасних методик обстеження. Визначено ключові прогалини сучасних знань щодо оцінки й лікування цих пацієнтів та окреслено пріоритетні напрями для подальших досліджень і клінічного вдосконалення, що мають забезпечити покращення функціональних результатів та якості життя дітей.

2. **Розроблено україномовний варіант опитувальника Pedi-IKDC та проведено його валідацію** зі згоди правовласника (AOSSM). Якість адаптації підтверджено за допомогою t-критерію Стьюдента (значення  $t=0,04$  за  $f=1\ 969$ ,  $p=0,966362$ ), що свідчить про статистично незначущу різницю між оригінальною версією анкети та її українським перекладом. Під час подальшого валідаційного дослідження тесту Pedi-IKDC у групі пацієнтів до та через 5 місяців після лікування отримано парне значення  $t=36,165$  за  $f=99$  ( $p=0,000$ ), яке підтверджує високу кореляцію результатів визначення клінічного стану й об'єктивність оцінок, отриманих за допомогою опитувальника Pedi-IKDC (Додаток А). Створено надійний і стандартизований інструмент для об'єктивної оцінки функціонального стану та якості життя дітей з НКС, адаптований до українського соціокультурного середовища, що дозволить покращити якість

клінічних досліджень і підвищити ефективність контролю результатів лікування таких пацієнтів.

3. **Уперше визначено вікові референтні значення МЯСК** у дітей різних вікових груп і встановлено, що Rg КС у проєкції тунелю можна застосовувати як рутинний метод діагностики ризику виникнення НКС унаслідок порушення закладки й розвитку LGC за ВПВРНК незалежно від віку. Доведено відсутність статистично значущої різниці за умов порівняння результатів, отриманих за допомогою Rg, КТ і МРТ ( $t=1,18$ ;  $p=0,24282$ ;  $f=67$ ). Це вказує на недоцільність застосування КТ і МРТ для рутинної діагностики НКС, з огляду на їх складність і високу вартість (Додаток Б). Визначені вікові референтні значення, дозволили точніше діагностувати патологічні зміни притаманні агенезії схрещених зв'язок, що дозволяє планувати індивідуалізовані хірургічні втручання з урахуванням особливостей дитячого організму на різних етапах росту.

4. **Уперше досліджено напружено-деформований стан елементів КС у дітей із ВПВРНК та з'ясовано характер змін після ПСКС за рахунок створення експериментальних математичних моделей КС** норми, КС за агенезії LGC, що супроводжує ВПВРНК, та патологічного суглоба після виконання пластики зв'язкового апарата колінного суглоба (ПСКС). Отримано нові кількісні дані про розподіл навантаження на окремі елементи КС за нормальних умов та за патології. Розроблено та впроваджено поліпшення до методики ПСКС (експериментально визначено оптимальні способи проведення та фіксації аутозв'язок), що дозволило клінічно зменшити медіальну нестабільність з 52,7 % (за класичної методики) до 0 %.

5. **Удосконалено методику ПСКС із метою зменшення кількості ускладнень і покращення результатів оперативного лікування.** До класичної методики SUPER knee було внесено низку змін:

- модифіковано спосіб проведення та фіксації аутозв'язок на підставі результатів математичного моделювання;

- змінено хірургічний доступ і метод забору трансплантата для зменшення розміру розтину шкіри й травмування м'яких тканин;
- змінено методи прошивання аутозв'язок задля покращення їх фізичних властивостей і скорочення часу формування.

Унаслідок цього тривалість оперативного втручання зменшилася на 28,2 %, післяопераційні шкірні ускладнення — з 16 до 0 %, а середній термін стаціонарного лікування — на 30,4 %.

**6. Для підвищення адаптаційних можливостей та прискорення відновлення після ПСКС уперше було розроблено програму реабілітації дітей із НКС за ВПВРНК (Додаток В).** Її впровадження сприяло збільшенню середнього бала тесту PEDI-ICDC на 47,4 %. Відзначено значне покращення нервово-м'язового контролю та динамічної стабільності за даними електронейроміографії м'язів нижніх кінцівок:

- максимальна амплітуда зросла на 19,9 %;
- середня амплітуда — на 21,7 %;
- сумарна амплітуда — на 33,1 % (із перевищенням показників здорової кінцівки на 5,5 %);
- середня частота — на 33,3 % (із перевищенням показників здорової кінцівки на 6,4 %);
- відношення амплітуди до частоти — на 20,5 %.

**7. Запропоновано й обґрунтовано алгоритм обстеження та лікування дітей із НКС за ВПВРНК, що підвищує ефективність комплексного лікування та післяопераційної реабілітації таких пацієнтів (Додаток Д).** Створений алгоритм забезпечує комплексний, персоналізований підхід до відновлення функціональної стабільності КС, прискорює процес одужання після хірургічного втручання, попереджує розвиток ускладнень і повторних деформацій, а також максимально покращує якість життя та фізичну активність пацієнтів у довгостроковій перспективі.

Отримані результати свідчать про високу клінічну ефективність запровадженої програми реабілітаційного лікування в комплексній корекції НКС у дітей із ВПВРНК.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Achterman, C., & Kalamchi, A. (1979). Congenital deficiency of the fibula. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. British volume, 61-B(2), 133-137. <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620x.61b2.438260>.
2. Ahmad, C. S., Cohen, Z. A., Levine, W. N., Gardner, T. R., Ateshian, G. A., & Mow, V. C. (2003). Codominance of the individual posterior cruciate ligament bundles: An analysis of bundle lengths and orientation. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(2), 221-225. <http://dx.doi.org/10.1177/03635465030310021101>.
3. Amis, A. A., Gupte, C. M., Bull, A. M., & Edwards, A. (2005). Anatomy of the posterior cruciate ligament and the meniscomfemoral ligaments. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14(3), 257-263. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-005-0686-x>.
4. Andersen, H. (1961). Histochemical studies on the histogenesis of the knee joint and superior tibio-fibular joint in human fetuses. *Acta Anat (Basel)*, 46, 279-303. <http://dx.doi.org/10.1159/000141791>.
5. Anderson, A. F., Fu, F. H., Harner, C. H., Vince, K. G. (1994). *Knee Surgery*. Baltimore: Williams & Wilkins, 275–296.
6. Anderson, C. J., Ziegler, C. G., Wijdicks, C. A., Engebretsen, L., & LaPrade, R. F. (2012). Arthroscopically pertinent anatomy of the Anterolateral and Posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 94(21), 1936-1945. <https://doi.org/10.2106/jbjs.k.01710>.
7. Fanelli, G. C., & Feldmann, D. D. (2001). Arthroscopically assisted combined anterior cruciate ligament/Posterior cruciate ligament reconstruction. *Posterior Cruciate Ligament Injuries*, 215-236. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-21601-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-0-387-21601-0_15)
8. Argentieri, E. C., Sneag, D. B., Nwawka, O. K., & Potter, H. G. (2018). Updates in musculoskeletal imaging. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 10(4), 296-302. <https://doi.org/10.1177/1941738118780230>.
9. Bahk, M. S., & Cosgarea, A. J. (2006). Physical examination and imaging of the lateral collateral ligament and Posterolateral corner of the knee. *Sports Medicine*

- and Arthroscopy Review*, 14(1), 12-19. <https://doi.org/10.1097/00132585-200603000-00003>.
10. Baker, C. L., Norwood, L. A., & Hughston, J. C. (1983). Acute posterolateral rotatory instability of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 65(5), 614-618. <https://doi.org/10.2106/00004623-198365050-00005>
  11. Balke, M., Mueller-Huebenthal, J., Shafizadeh, S., Liem, D., ... & Hoehner, J. (2010). Unilateral aplasia of both cruciate ligaments. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1749-799x-5-11>.
  12. Barrett, G. R., & Tomasin, J. D. (1988). Bilateral congenital absence of the anterior cruciate ligament. *Orthopedics*, 11(3), 431-434. <https://doi.org/10.3928/0147-7447-19880301-07>
  13. Baumgart, R., Betz, A., & Schweiberer, L. (1997). A fully Implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 343, 135-143. <https://doi.org/10.1097/00003086-199710000-00023>
  14. Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., ... & Ferraz, M. B. (2000). Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures. *Spine*, 25(24), 3186-3191. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014>.
  15. Hejgaard, N., & Kjaerulff, H. (1987). Congenital aplasia of the anterior cruciate ligament. *International Orthopaedics*, 11(3), 223-225. <https://doi.org/10.1007/bf00271452>.
  16. Beran, M. C., Samora, W. P., Klingele, K. E., ... & Parikh, S. N. (2017). Congenital absence of the anterior cruciate ligament. *The Pediatric Anterior Cruciate Ligament*, 241-249. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64771-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64771-5_23).
  17. Blalock, D., Miller, A., Tilley, M., & Wang, J. (2015). Joint instability and osteoarthritis. *Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders*, 8, CMAMD.S22147. <https://doi.org/10.4137/CMAMD.S22147>.
  18. Cowin, C. (2001). *Bone mechanics handbook*. edited by Stephen. CRC Press Reference, 980. <https://doi.org/10.1201/b14263>.

19. Bontrager, K. L., & Lampignano, J. P. (2011). Appareils mobiles (portables) et arceau chirurgical. *Positions et Incidences en Radiologie Conventionnelle*, 304-312. <https://doi.org/10.1016/b978-2-294-71344-6.50009-2>.
20. Borsa, P. A., Lephart, S. M., Irrgang, J. J., Safran, M. R., & Fu, F. H. (1997). The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(3), 336-340. <https://doi.org/10.1177/036354659702500311>.
21. Brantigan, O. C., & Voshell, A. F. (1943). The tibial collateral ligament: its function, its bursae, and its relation to the medial meniscus. *J Bone Joint Surg Am.*, 25, 121–131.
22. Buchanan, T. S., & Lloyd, D. G. (1997). Muscle activation at the human knee during isometric flexion-extension and Varus-valgus loads. *Journal of Orthopaedic Research*, 15(1), 11-17. <https://doi.org/10.1002/jor.1100150103>
23. Buckup, K., & Buckup J., (2016). Clinical test for the musculoskeletal system examinations signs phenomena, 400. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-1913-0>
24. Butler, D. L., Noyes, F. R., & Grood, E. S. (1980). Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 62(2), 259-270. <https://doi.org/10.2106/00004623-198062020-00013>.
25. Cerulli, G., Amanti, A., & Placella, G. (2014). Surgical treatment of a rare isolated bilateral Agnesis of anterior and posterior cruciate ligaments. *Case Reports in Orthopedics*, 2014, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2014/809701>.
26. Chahla, J., Pascual-Garrido, C., & Rodeo, S. A. (2015). Ligament reconstruction in congenital absence of the anterior cruciate ligament. *HSS Journal®: The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery*, 11(2), 177-181. [doi.org/10.1007/s11420-015-9448-6](https://doi.org/10.1007/s11420-015-9448-6)
27. Changulani, M., Ali, F., Mulgrew, E., Day, J. B., & Zenios, M. (2010). Outcome of limb lengthening in fibular hemimelia and a functional foot. *Journal of Children's Orthopaedics*, 4(6), 519-524. <https://doi.org/10.1007/s11832-010-0291-52981715>.

28. Chelli Bouaziz, M., Bouaziz, N., Chelli, D., Ladeb, M., & Chelli, H. (2005). AGF9 Atresie cervico-isthmique de l'uterus. A propos d'un cas. *Journal de Radiologie*, 86(10), 1459. [https://doi.org/10.1016/s0221-0363\(05\)75882-0](https://doi.org/10.1016/s0221-0363(05)75882-0)
29. Chomiak, J., Podškubka, A., Dungl, P., Ošťádal, M., & Frydrychová, M. (2012). Cruciate ligaments in proximal femoral focal deficiency. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 32(1), 21-28. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e31823d34db>.
30. Claes, S., Vereecke, E., Maes, M., Victor, J., Verdonk, P., & Bellemans, J. (2013). Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *Journal of Anatomy*, 223(4), 321-328. <https://doi.org/10.1111/joa.12087>.
31. Covey, D. C. (2001). Injuries of the Posterolateral corner of the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 83(1), 106-118. <https://doi.org/10.2106/00004623-200101000-00015>
32. Crawford, D. A., Tompkins, B. J., Baird, G. O., & Caskey, P. M. (2012). The long-term function of the knee in patients with fibular hemimelia and anterior cruciate ligament deficiency. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 94-B(3), 328-333. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.94B3.27997>
33. Cuervo, M., Albiñana, J., Cebrian, J., & Juarez, C. (1996). Congenital hypoplasia of the fibula. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 5(1), 35-41. <https://doi.org/10.1097/01202412-199605010-00007>.
34. Curtis, B. H., & Fisher, R. L. (1969). Congenital Hyperextension with anterior subluxation of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 51(2), 255-269. <https://doi.org/10.2106/00004623-196951020-00005>.
35. Cvjetkovic, D., Bijeljic, S., Palija, S., Talic, G., Radulovic, T., Kosanovic, M., & Manojlovic, S. (2015). Isokinetic testing in evaluation rehabilitation outcome after ACL reconstruction. *Medical Archives*, 69(1), 21. <https://doi.org/10.5455/medarh.2015.69.21-23>.
36. Daniel, D. M., Malcom, L. L., Losse, G., Stone, M. L., Sachs, R., & Burks, R. (1985). Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 67(5), 720-726. <https://doi.org/10.2106/00004623-198567050-00006>.

37. Davies, H., Unwin, A., & Aichroth, P. (2004). The posterolateral corner of the knee. *Injury*, 35(1), 68-75. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(03\)00094-9](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(03)00094-9).
38. De Ponti, A., Sansone, V., & Da Gama Malchère, M. (2001). Bilateral absence of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 17(6), 1-4. <https://doi.org/10.1053/jars.2001.22411>
39. Kim, K., Kim, T., Kim, D., & Choi, J. (2020). Bilateral congenital absence of the anterior cruciate ligament associated with bilateral knee and hip osteoarthritis: Case report. *International Journal of Surgery Case Reports*, 72, 313-317. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2020.05.099>
40. Delee, J. C., Riley, M. B., & Rockwood, C. A. (1983). Acute posterolateral rotatory instability of the knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 11(4), 199-207. <https://doi.org/10.1177/036354658301100403>.
41. Dhillon, M., Akkina, N., Prabhakar, S., & Bali, K. (2012). Evaluation of outcomes in conservatively managed concomitant type a and B posterolateral corner injuries in ACL deficient patients undergoing ACL reconstruction. *The Knee*, 19(6), 769-772. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.02.004>
42. Dietvorst, M., Reijman, M., Van Groningen, B., Van der Steen, M. C., & Janssen, R. P. (2017). PROMs in paediatric knee ligament injury: Use the Pedi-IKDC and avoid using adult PROMs. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(6), 1965-1973. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4687-3>
43. Dohle, J., Kumm, D. A., & Braun, M. (2000). Die "leere" Kreuzbandhöhle Aplasie Oder Traumafolge? *Der Unfallchirurg*, 103(8), 693-695. <https://doi.org/10.1007/s001130050604>.
44. Shahtiaee, H., O'Connor's, Drez, Kaveney, M. F., ...& Wilkinson, M. (1992). History and physical examination. *Textbook of Arthroscopic Surgery*, 2nd ed. Philadelphia: JB Lippincott. 85-117.
45. Duthon, V., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Ménétrey, J. (2005). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14(3), 204-213. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0679-9>.

46. El-Daly, I., Ibraheim, H., Rajakulendran, K., Culpan, P., & Bates, P. (2016). Are patient-reported outcome measures in orthopaedics easily read by patients? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 474(1), 246-255. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4595-0>
47. Elston, D. (2021). This month in JAAD: May 2021. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 84(5), 1249. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.06.845>.
48. Eshoj, H., Rasmussen, S., Frich, L. H., Hvass, I., Christensen, R., Jensen, S. L., ...& Juul-Kristensen, B. (2017). A neuromuscular exercise programme versus standard care for patients with traumatic anterior shoulder instability: Study protocol for a randomised controlled trial (the SINEX study). *Trials*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-017-1830-x>.
49. Fabricant, P. D., Brusalis, C. M., Schachne, J. M., Matava, M. J., Anderson, C. N., Busch, M. T., ...& Willimon, S. C. (2020). Which metrics are being used to evaluate children and adolescents after ACL reconstruction? A systematic review. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 2(4), e417-e428. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2020.04.006>.
50. Fanelli, G. C., & Feldmann, D. D. (1999). Management of combined anteriorcruciate ligament/posterior cruciate ligament/posterolateral complex injuries of the knee. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 7(3), 143-149. [https://doi.org/10.1016/s1060-1872\(99\)80011-2](https://doi.org/10.1016/s1060-1872(99)80011-2).
51. Fanelli, G. C., & Larson, R. V. (2002). Practical management of posterolateral instability of the knee. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 18(2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(02\)80001-9](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(02)80001-9).
52. Ferris, B., & Aichroth, P. (1987). The treatment of congenital knee dislocation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 216(&NA;), 135???140. <https://doi.org/10.1097/00003086-198703000-00021>. <https://doi.org/>
53. Figueroa, D., Calvo, R., Villalón, I. E., Schmidt-Hebbel, A., Figueroa, F., & Baar, A. (2012). Single time angular deformity correction and treatment of knee instability in congenital fibular hemimelia. A case report. *The Knee*, 19(4), 504-507. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.07.009>.

54. Lind, M., Seil, R., Dejour, D., Becker, R., Menetrey, J., & Ross, M. (2020). Creation of a specialist core curriculum for the European society for sports traumatology, knee surgery and arthroscopy (ESSKA). *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(10), 3066-3079. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06210-2>.
55. Frikha, R., Dahmene, J., Ben Hamida, R., Chaieb, Z., Janhaoui, N., & Laziz Ben Ayeche, M. (2005). Absence congénitale du ligament croisé antérieur. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur*, 91(7), 642-648. [https://doi.org/10.1016/s0035-1040\(05\)84468-x](https://doi.org/10.1016/s0035-1040(05)84468-x).
56. Wachowski, M., Floerkemeier, T., Balcarek, P., Walde, T., Schüttrumpf, J., Frosch, S., ...& Frosch, K. (2011). Mittelfristige klinische und kernspintomografische Ergebnisse nach Refixation osteochondraler Fragmente MIT resorbierbaren Implantaten. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 149(01), 61-67. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250691>.
57. Gabos, P. G., Rassi, G. E., & Pahys, J. (2005). Knee reconstruction in syndromes with congenital absence of the anterior cruciate ligament. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 25(2), 210-214. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000153874.74819.29>.
58. Galway, H. R., & Macintosh, D. L. (1980). The lateral pivot shift. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 147(&NA;), 45-50. doi <https://doi.org/10.1097/00003086-198003000-00008>. <https://doi.org/>
59. Geil, M., & Coulter, C. (2014). Analysis of locomotor adaptations in young children with limb loss in an early prosthetic knee prescription protocol. *Prosthetics & Orthotics International*, 38(1), 54-61. <https://doi.org/10.1177/0309364613487546>.
60. Giorgi, B. (1956). Morphologic variations of the intercondylar eminence of the knee. *Clinical Orthopaedics*, 8, 209-217.
61. Girgis, F. G., Marshall, J. L., & MONA JEM, A. R. (1975). The cruciate ligaments of the knee joint. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 106, 216-231. <https://doi.org/10.1097/00003086-197501000-00033>. <https://doi.org/>

62. Gollehon, D. L., Torzilli, P. A., & Warren, R. F. (1987). The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 69(2), 233-242. <https://doi.org/10.2106/00004623-198769020-00010>.
63. Greer, A. E., & Iversen, M. D. (2020). Measures of pediatric function and physical activity in arthritis. *Arthritis Care & Research*, 72(S10), 499-521.. <https://doi.org/10.1002/acr.24239>
64. Grelsamer, R. P., & Meadows, S. (1992). The modified Insall-Salvati ratio for assessment of patellar height. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 282, 170-176. <https://doi.org/10.1097/00003086-199209000-00022>.
65. Grill, F., & Dungal, P. (1991). Lengthening for congenital short femur. Results of different methods. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 73-B(3), 439-447. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.73b3.1670446>.
66. Grood, E. S., Stowers, S. F., & Noyes, F. R. (1988). Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 70(1), 88-97. <https://doi.org/10.2106/00004623-198870010-00014>.
67. Grood, E. S., Noyes, F. R., Butler, D. L., & Suntay, W. J. (1981). Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 63(8), 1257-1269. <https://doi.org/10.2106/00004623-198163080-00007>.
68. Gupte, C. M., Bull, A. M., Thomas, R., & Amis, A. A. (2003). A review of the function and biomechanics of the menisiofemoral ligaments. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 19(2), 161-171. <https://doi.org/10.1053/jars.2003.50011>.
69. Gupte, C. M., Smith, A., McDermott, I. D., Bull, A. M., Thomas, R. D., & Amis, A. A. (2002). Menisiofemoral ligaments revisited. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 84-B(6), 846-851. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.84b6.0840846>.

70. Haines, R.W. (1947). The development of joints. *Journal of Anatomy*, 81(1), 33–55.
71. Touraine, S., Ea, H. K., Bousson, V., Cohen-Solal, M., Laouisset, L., Chappard, C., ...& Laredo, J. (2013). Chondrocalcinosis of femoro-tibial and proximal tibio-fibular joints in cadaveric specimens: A high-resolution CT imaging study of the calcification distribution. *PLoS ONE*, 8(1), e54955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054955>.
72. Hall, J. G., Levin, J., Kuhn, J. P., Ottenheimer, E. J., Van Berkum, K. A., & Mckusick, V. A. (1969). Thrombocytopenia with absent radius (Tar). *Medicine*, 48(6), 411-440. <https://doi.org/10.1097/00005792-196948060-00001>
73. Harner, C. D., Xerogeanes, J. W., Livesay, G. A., Carlin, G. J., Smith, B. A., Kusayama, T., ...& Woo, S. L. (1995). The human posterior cruciate ligament complex: An interdisciplinary study. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(6), 736-745. <https://doi.org/10.1177/036354659502300617>.
74. Hayes, C. W., & Conway, W. F. (1993). Normal anatomy and magnetic resonance appearance of the knee. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, 5(4), 207-227. <https://doi.org/10.1097/00002142-199300540-00003>.
75. Hayes, C. W., Brigido, M. K., Jamadar, D. A., & Propeck, T. (2000). Mechanism-based pattern approach to classification of complex injuries of the knee depicted at MR imaging. *RadioGraphics*, 20(suppl\_1), S121-S134. [https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl\\_1.g00oc21s121](https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl_1.g00oc21s121).
76. Hejgaard, N., & Kjaerulff, H. (1987). Congenital aplasia of the anterior cruciate ligament. *International Orthopaedics*, 11(3), 223-225. <https://doi.org/10.1007/bf00271452>.
77. Heller, L., & Langman, J. (1964). The menisco-femoral ligaments of the human knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 46-B(2), 307-313. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.46b2.307>.
78. Henderson, R. E., Walker, B. F., & Young, K. J. (2015). The accuracy of diagnostic ultrasound imaging for musculoskeletal soft tissue pathology of the

- extremities: A comprehensive review of the literature. *Chiropractic & Manual Therapies*, 23(1). doi.org/10.1186/s12998-015-0076-5.
79. Heron, D. (2001). Agenesis of cruciate ligaments and menisci causing severe knee dysplasia in TAR syndrome. *Journal of Medical Genetics*, 38(8), 27e-27. <https://doi.org/10.1136/jmg.38.8.e27>.
80. Hodgson, R. J., O'Connor, P. J., Grainger, A. J. (2012). Tendon and ligament imaging. *The British journal of radiology*, 85(1016), 1157–1172. doi.org/10.1259/bjr/34786470.
81. Horn, J., Grimsrud, Ø., Dagsgard, A. H., Huhnstock, S., & Steen, H. (2014). Femoral lengthening with a motorized intramedullary nail. *Acta Orthopaedica*, 86(2), 248-256. <https://doi.org/10.3109/17453674.2014.9606474404780>
82. Hsiao, M., Hung, C., Chang, K., & Özçakar, L. (2016). Dynamic ultrasonography of the intra-articular long head biceps tendon and superior Labrum. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 95(11), e183-e184. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000505>
83. [https://www.sportsmed.org/aossmimis/Staging/Research/IKDC\\_Forms.aspx](https://www.sportsmed.org/aossmimis/Staging/Research/IKDC_Forms.aspx)
84. Smith, D. B., Amirault, J. D., & Leahey, L. (2000). Congenital absence of the cruciate ligaments. *Dalhousie Medical Journal*, 28(1). <https://doi.org/10.15273/dmj.vol28no1.4327>.
85. Hughston, J., Andrews, J., Cross, M., & Moschi, A. (1976). Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 58(2), 173-179. <https://doi.org/10.2106/00004623-197658020-00002>.
86. Hughston, J. C., Bowden, J. A., Andrews, J. R., & Norwood, L. A. (1980). Acute tears of the posterior cruciate ligament. Results of operative treatment. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 62(3), 438-450. <https://doi.org/10.2106/00004623-198062030-00014>.
87. Hughston, J. C., & Eilers, A. F. (1994). The role of the posterior oblique ligament in repairs of acute medial (collateral) ligament tears of the knee. *J. Bone Joint Surg Am.*, 76, 1328–1344.

88. Hughston, J. C., & Jacobson, K. E. (1985). Chronic posterolateral rotatory instability of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 67(3), 351-359. <https://doi.org/10.2106/00004623-198567030-00001>.
89. Hughston, J. C., & Norwood, L. A. (1980). The Posterolateral drawer test and external rotational Recurvatum test for Posterolateral rotatory instability of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 147(&NA;), 82???87. <https://doi.org/10.1097/00003086-198003000-00014>.
90. Indelicato, P. A. (1995). Isolated medial collateral ligament injuries in the knee. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 3(1), 9-14. <https://doi.org/10.5435/00124635-199501000-00002>.
91. Jackson D. W. (2007). *Reconstructive Knee Surgery*. Philadelphia: Lippincot William and Wilkins, 2007, 522.
92. Jacobsen, J. S., Knudsen, P., Fynbo, C., Rolving, N., & Warming, S. (2015). Reproducibility and responsiveness of a <scp>D</scp>anish <scp>P</scp>edi- <scp>ikdc</scp> subjective knee form for children with knee disorders. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(12), 1408-1414. <https://doi.org/10.1111/sms.12589>.
93. Jacobsen, K., & Vopalecky, F. (1985). Congenital dislocation of the knee. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 56(1), 1-7. <https://doi.org/10.3109/17453678508992968>.
94. Janousek, A. T., Jones, D. G., Clatworthy, M., Higgins, L. D., & Fu, F. H. (1999). Posterior cruciate ligament injuries of the knee joint. *Sports Medicine*, 28(6), 429-441. <https://doi.org/10.2165/00007256-199928060-00005>.
95. Johansson, E., & Aparisi, T. (1982). Congenital absence of the cruciate ligaments. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 162(&NA;), 108???111. <https://doi.org/10.1097/00003086-198201000-00018>.
96. Johansson, E., & Aparisi, T. (1983). Missing cruciate ligament in congenital short femur. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 65(8), 1109-1115. <https://doi.org/10.2106/00004623-198365080-00010>.

97. Johnson, D. S., & Smith, R. B. (2001). Outcome measurement in the ACL deficient knee — what's the score? *The Knee*, 8(1), 51-57. [https://doi.org/10.1016/s0968-0160\(01\)00068-0](https://doi.org/10.1016/s0968-0160(01)00068-0).
98. Johnson, K., & Davies, A. M. (2003). Congenital and developmental abnormalities of the knee. *Medical Radiology*, 77-95. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55912-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55912-9_6).
99. Johnson, E., Audell, R., & Oppenheim, W. L. (1987). Congenital dislocation of the knee. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 7(2), 194-200. <https://doi.org/10.1097/01241398-198703000-00017>.
100. Jones, R. M. (2009). Deformation Theory of Plasticity. Bull Ridge Corporation, 2009. 622.
101. Kaelin, A., Hulin, P., & Carlioz, H. (1986). Congenital aplasia of the cruciate ligaments. A report of six cases. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 68-B(5), 827-828. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.68b5.3782255>.
102. Kannus, P. (1989). Nonoperative treatment of grade II and III sprains of the lateral ligament compartment of the knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 17(1), 83-88. <https://doi.org/10.1177/036354658901700114>.
103. Karabay, N., Sugun, T. S., & Toros, T. (2008). Ultrasonographic diagnosis of the posterior cruciate ligament injury in a 4-year-old child: A case report. *Emergency Radiology*, 16(5), 415-417. <https://doi.org/10.1007/s10140-008-0755-9>
104. Karger, C., Guille, J. T., & Richard, J. (1993). Lengthening of congenital lower limb deficiencies. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 291, 236-245. <https://doi.org/10.1097/00003086-199306000-00028>.
105. Katz, J. W., & Fingerioth, R. J. (1986). The diagnostic accuracy of ruptures of the anterior cruciate ligament comparing the Lachman test, the anterior drawer sign, and the pivot shift test in acute and chronic knee injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 14(1), 88-91. <https://doi.org/10.1177/0363546586014001151>.
106. Katz, M. P., Grogono, B. J., & Soper, K. C. (1967). The etiology and treatment of congenital dislocation of the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 49-B(1), 112-120. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.49b1.112>.

107. Kawashima, T., Takeishi, H., Yoshitomi, S., Ito, M., & Sasaki, H. (2007). Anatomical study of the fabella, fabellar complex and its clinical implications. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 29(8), 611-616. <https://doi.org/10.1007/s00276-007-0259-4>.
108. Book review human embryology and morphology . By sir Arthur Keith. Fifth edition. 558 pp. Baltimore: William wood and company. (1934). *New England Journal of Medicine*, 210(25), 1354-1354. doi:10.1056/nejm193406212102521.
109. Kennedy, J., Hawkins, R., Willis, R., & Danylchuck, K. (1976). Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 58(3), 350-355. <https://doi.org/10.2106/00004623-197658030-00009>.
110. Kennedy, N. I., LaPrade, R. F., Goldsmith, M. T., Faucett, S. C., Rasmussen, M. T., Coatney, G. A., ...& Wijdicks, C. A. (2014). Posterior cruciate ligament Graft fixation angles, Part 1. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(10), 2338-2345. <https://doi.org/10.1177/0363546514541225>.
111. Kennedy, N. I., Wijdicks, C. A., Goldsmith, M. T., Michalski, M. P., Devitt, B. M., Årøen, A., ...& LaPrade, R. F. (2013). Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, Part 1. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(12), 2828-2838. <https://doi.org/10.1177/0363546513504287>.
112. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky, M., & Yaresko, O. (2022). Mathematical modeling of the stress-strain state of the knee joint model with aplasia of the cruciate ligaments and after restoration of the ligamentous apparatus. *Paediatric Surgery (Ukraine)*, № 4(77), 75-83. doi <https://doi.org/10.15574/PS.2022.77.75>.
113. Khmyzov, S., Yakushkin, E., Karpinsky M., & Yaresko O. (2022). Study of relative deformations of the ligamentous apparatus of the knee joint in case of aplasia of the cruciate ligaments and after their restoration (mathematical modeling). *Trauma*, 23(5), 12–18. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.5.23.2022.911>.
114. Khmyzov, S., Yakushkin, Y., & Katsalap, Y. (2021). Knee joint instability in conditions of congenital malformations of the lower extremities. *Orthopaedics*,

- traumatology and prosthetics*, (1), 80-85. <https://doi.org/10.15674/0030-59872021180-85>.
115. Kirane, Y., Fragomen, A., & Rozbruch, S. (2014). Precision of the PRECICE® internal bone lengthening nail. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 472(12), 3869-3878. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3575-04397804>.
116. Logerstedt, D. S., Snyder-Mackler, L., Ritter, R. C., Axe, M. J., & Godges, J. J. (2010). Knee stability and movement coordination impairments: Knee ligament sprain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(4), A1-A37. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.0303>.
117. Kocher, M., Steadman, J., Briggs, K., Zurakowski, D., Sterett, W., & Hawkins, R. (2002). Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 84(9), 1560-1572. <https://doi.org/10.2106/00004623-200209000-00008>.
118. Kocher, M. S., Smith, J. T., Iversen, M. D., Brustowicz, K., Ogunwole, O., Andersen, J., ... & Zurakowski, D. (2010). Reliability, validity, and responsiveness of a modified international knee documentation committee subjective knee form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(5), 933-939. <https://doi.org/10.1177/0363546510383002>.
119. Krackow, K. A., Thomas, S. C., & Jones, L. C. (1986). A new stitch for ligament-tendon fixation. *Brief note. The Journal of Bone & Joint Surgery*, 68(5), 764-766. <https://doi.org/10.2106/00004623-198668050-00020>.
120. Krieg, A. H., Lenze, U., Speth, B. M., & Hasler, C. C. (2011). Intramedullary leg lengthening with a motorized nail. *Acta Orthopaedica*, 82(3), 344-350. <https://doi.org/10.3109/17453674.2011.5842093235314>.
121. Krukhaug, Y., Mølster, A., Rodt, A., & Strand, T. (1998). Lateral ligament injuries of the knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 6(1), 21-25. <https://doi.org/10.1007/s001670050067>.
122. Kumar, S., Kumar, A., Kumar, S., & Kumar, P. (2018). Functional ultrasonography in diagnosing anterior cruciate ligament injury as compared to

- magnetic resonance imaging. *Indian Journal of Orthopaedics*, 52(6), 638-644. [https://doi.org/10.4103/ortho.ijortho\\_28\\_17](https://doi.org/10.4103/ortho.ijortho_28_17).
123. Kwan, K., & Ross, K. (2009). Arthrogyrosis and congenital absence of the anterior cruciate ligament: A case report. *The Knee*, 16(1), 81-82. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.08.004>.
124. Landge, V., Shabtai, L., Gesheff, M., Specht, S. C., & Herzenberg, J. E. (2015). 2015. *Journal of Surgical Orthopaedic Advances*, 24(03). <https://doi.org/10.3113/JSOA.2015.0174>.
125. Lanzetti, R. M., Pace, V., Ciompi, A., Perugia, D., Spoliti, M., Falez, F., & Auro, C. (2020). Over the top anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: A long-term follow-up study. *International Orthopaedics*, 44(4), 771-778. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04490-4>.
126. LaPrade, R. F., Wentorf, F. A., Fritts, H., Gundry, C., & Hightower, C. D. (2007). A prospective magnetic resonance imaging study of the incidence of Posterolateral and multiple ligament injuries in acute knee injuries presenting with a Hemarthrosis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 23(12), 1341-1347. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2007.07.024>.
127. LaPrade, R. F., Gilbert, T. J., Bollom, T. S., Wentorf, F., & Chaljub, G. (2000). The magnetic resonance imaging appearance of individual structures of the Posterolateral knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(2), 191-199. <https://doi.org/10.1177/03635465000280020901>.
128. LaPrade, R. F., Griffith, C. J., Coobs, B. R., Geeslin, A. G., Johansen, S., & Engebretsen, L. (2014). Improving outcomes for posterolateral knee injuries. *Journal of Orthopaedic Research*, 32(4), 485-491. <https://doi.org/10.1002/jor.22572>.
129. LaPrade, R. F., Heikes, C., Bakker, A. J., & Jakobsen, R. B. (2008). The reproducibility and repeatability of Varus stress radiographs in the assessment of isolated fibular collateral ligament and Grade-III Posterolateral knee injuries. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 90(10), 2069-2076. <https://doi.org/10.2106/jbjs.g.00979>.

130. LaPrade, R. F., Johansen, S., Agel, J., Risberg, M. A., Moksnes, H., & Engebretsen, L. (2010). Outcomes of an anatomic Posterolateral knee reconstruction. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 92(1), 16-22. <https://doi.org/10.2106/jbjs.i.00474>.
131. LaPrade, R. F., Ly, T. V., & Griffith, C. (2008). The external rotation Recurvatum test revisited. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(4), 709-712. <https://doi.org/10.1177/0363546507311096>.
132. LaPrade, R. F., Tso, A., & Wentorf, F. A. (2004). Force measurements on the fibular collateral ligament, Popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(7), 1695-1701. <https://doi.org/10.1177/0363546503262694>.
133. LaPrade, R. F., & Terry, G. C. (1997). Injuries to the Posterolateral aspect of the knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(4), 433-438. <https://doi.org/10.1177/036354659702500403>.
134. LaPrade, R. F., & Wentorf, F. (2002). Diagnosis and treatment of Posterolateral knee injuries. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 402, 110-121. <https://doi.org/10.1097/00003086-200209000-00010>.
135. LaPrade, R. F., Wozniczka, J. K., Stellmaker, M. P., & Wijdicks, C. A. (2009). Analysis of the static function of the Popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(3), 543-549. <https://doi.org/10.1177/0363546509349493>.
136. LaPrade, R. F., Engebretsen, A. H., Ly, T. V., Johansen, S., Wentorf, F. A., & Engebretsen, L. (2007). The anatomy of the medial part of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 89(9), 2000-2010. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.F.01176>
137. Laurence, M. (1967). Genu recurvatum congenitum. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 49-B(1), 121-134. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.49b1.121>.
138. Laville, J. M., Lakermance, P., & Limouzy, F. (1994). Larsen's syndrome: Review of the literature and analysis of thirty-eight cases. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 14(1), 63-73. <https://doi.org/10.1097/01241398-199401000-00014>.

139. Jung, Y., Lee, Y. S., Jung, H., & Nam, C. (2009). Evaluation of Posterolateral rotatory knee instability using the dial test according to tibial positioning. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 25(3), 257-261. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2008.10.007>.
140. Leite, C. B., Grangeiro, P. M., Munhoz, D. U., Giglio, P. N., Camanho, G. L., & Gobbi, R. G. (2021). The knee in congenital femoral deficiency and its implication in limb lengthening: A systematic review. *EFORT Open Reviews*, 6(7), 565-571. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200075>.
141. Lento, P. H., & Primack, S. (2007). Advances and utility of diagnostic ultrasound in musculoskeletal medicine. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 1(1), 24-31. <https://doi.org/10.1007/s12178-007-9002-3>.
142. Limbird, T. J., Shiavi, R., Frazer, M., & Borra, H. (1988). EMG profiles of knee joint musculature during walking: Changes induced by anterior cruciate ligament deficiency. *Journal of Orthopaedic Research*, 6(5), 630-638. <https://doi.org/10.1002/jor.1100060503>.
143. Logerstedt, D. S., Snyder-Mackler, L., Ritter, R. C., Axe, M. J., & Godges, J. (2010). Knee stability and movement coordination impairments: Knee ligament sprain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(4), A1-A37. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.0303>.
144. Lunden, J. B., Bzdusek, P. J., Monson, J. K., Malcomson, K. W., & Laprade, R. F. (2010). Current concepts in the recognition and treatment of Posterolateral corner injuries of the knee. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(8), 502-516. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3269>.
145. Macchiarola, L., Grassi, A., Di Paolo, S., Pizza, N., Trisolino, G., Stallone, S., ...& Zaffagnini, S. (2020). The Italian cross-cultural adaptations of the paediatric international knee documentation committee score and the hospital for special surgery paediatric functional activity brief scale are reliable instruments in paediatric population. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(8), 2657-2662.. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05903-y>.

146. Malone, A., Dowd, G., & Saifuddin, A. (2006). Injuries of the posterior cruciate ligament and posterolateral corner of the knee. *Injury*, 37(6), 485-501. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2005.08.003>.
147. Malumed, J., Hudanich, R., & Collins, M. (1999). Congenital absence of the anterior and posterior cruciate ligaments in the presence of bilateral absent patellae. *The American Journal of Knee Surgery*, 12(4), 241–243.
148. Manner, H. M., Huebl, M., Radler, C., Ganger, R., Petje, G., & Grill, F. (2007). Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: A comparison of the Taylor spatial frame with the Ilizarov ring fixator. *Journal of Children's Orthopaedics*, 1(1), 55-61. <https://doi.org/10.1007/s11832-006-0005-1>.
149. MANNER, H. M., RADLER, C., GANGER, R., & GRILL, F. (2006). Dysplasia of the cruciate ligaments. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 88(1), 130-137. <https://doi.org/10.2106/00004623-200601000-00016>.
150. Manner, H. M., Radler, C., Ganger, R., & Grill, F. (2006). Knee deformity in congenital longitudinal deficiencies of the lower extremity. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 448, 185-192. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000218733.38753.90>.
151. Markolf, K. L., Kochan, A., & Amstutz, H. C. (1984). Measurement of knee stiffness and laxity in patients with documented absence of the anterior cruciate ligament. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 66(2), 242-252. <https://doi.org/10.2106/00004623-198466020-00011>.
152. Marot, V., Vilette, H., Dalmas, Y., Justo, A., Reina, N., Cavaignac, E., Berard, E., & Accadbled, F. (2021). Pediatric Simple Knee Value: a simple patient-reported outcome measure for the knee. *J. Child Orthop.*, 1;15(1), 76-80. <https://doi.org/10.1302/1863-2548.15.200237>.
153. McDERMOTT, L. J. (1943). Development of the human knee joint. *Archives of Surgery*, 46(5), 705. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1943.01220110121021>.
154. Van Meer, B. L., Meuffels, D. E., Vissers, M. M., Bierma-Zeinstra, S. M., Verhaar, J. A., Terwee, C. B., & Reijman, M. (2013). Knee injury and osteoarthritis outcome score or international knee documentation committee subjective knee form:

- Which questionnaire is most useful to monitor patients with an anterior cruciate ligament rupture in the short term? *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 29(4), 701-715. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2012.12.015.2>.
155. Meister, B. R., Michael, S. P., Moyer, R. A., Kelly, J. D., & Schneck, C. D. (2000). Anatomy and kinematics of the lateral collateral ligament of the knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(6), 869-878. <https://doi.org/10.1177/03635465000280061601>.
156. Mérida-Velasco, J. A., Sánchez-Montesinos, I., Espín-Ferra, J., Mérida-Velasco, J. R., Rodríguez-Vázquez, J. F., & Jiménez-Collado, J. (1997). Development of the human knee joint ligaments. *The Anatomical Record*, 248(2), 259-268. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0185\(199706\)248:2<259::aid-ar13>3.0.co;2-o](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0185(199706)248:2<259::aid-ar13>3.0.co;2-o).
157. Mindler, G. T., Radler, C., & Ganger, R. (2016). The unstable knee in congenital limb deficiency. *Journal of Children's Orthopaedics*, 10(6), 521-528. <https://doi.org/10.1007/s11832-016-0784-y>.
158. Mitsuoka, T., Horibe, S., & Hamada, M. (1998). Osteochondritis dissecans of the medial femoral condyle associated with congenital hypoplasia of the lateral meniscus and anterior cruciate ligament. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 14(6), 630-633. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(98\)70063-5](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(98)70063-5)
159. Moeller, T. B., & Reif, E. (2007). Pocket atlas of sectional anatomy: Computed tomography and magnetic resonance imaging.
160. Morelli, V., Bright, C., & Fields, A. (2013). Ligamentous injuries of the knee. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 40(2), 335-356. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2013.02.004>.
161. Patient-reported outcomes in orthopaedics. (2018). *Journal of Bone and Joint Surgery*, 100(5), 436-442. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00608>.
162. Murali, J., Monchik, K., & Fadale, P. (2015). Congenital absence of the anterior cruciate ligament. *Am. J. Orthop. (Belle Mead NJ)*, 44(8), 283-5.
163. Murphy, B. J., Smith, R. L., Uribe, J. W., Janecki, C. J., Hechtman, K. S., & Mangasarian, R. A. (1992). Bone signal abnormalities in the posterolateral tibia and

- lateral femoral condyle in complete tears of the anterior cruciate ligament: A specific sign? *Radiology*, 182(1), 221-224. <https://doi.org/10.1148/radiology.182.1.1727286>.
164. Nasreddine, A. Y., Connell, P. L., Kalish, L. A., Nelson, S., Iversen, M. D., Anderson, A. F., & Kocher, M. S. (2016). The pediatric international knee documentation committee (Pedi-IKDC) subjective knee evaluation form: Normative data. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(3), 527-534. <https://doi.org/10.1177/0363546516672456>.
165. , Grobbelaar, N., & Bouffard, J. A. (2000). Sonography of the knee, a pictorial review. *Semin Ultrasound CT MR.*, 21((3), 231-74. [https://doi.org/10.1016/S0887-2171\(00\)90045-3](https://doi.org/10.1016/S0887-2171(00)90045-3).
166. Neyret, P., Le Blay, G., Ait Si Selm, T. (1996). Knee Clinical Examination. *Maîtrise Orthopédique*.
167. Noble, J. (1975). Congenital absence of the anterior cruciate ligament associated with a ring meniscus. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 57(8), 1165-1166. <https://doi.org/10.2106/00004623-197557080-00029>.
168. Noyes, F. R., & Barber-Westin, S. D. (2017). Posterior cruciate ligament injuries. *Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes*, 447-526. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-32903-3.00016-0>
169. Noyes, F. R., Delucas, J. L., & Torvik, P. J. (1974). Biomechanics of anterior cruciate ligament failure. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 56(2), 236-253. <https://doi.org/10.2106/00004623-197456020-00002>.
170. O’Rahilly, R., & Müller, F. (2008). Significant features in the early prenatal development of the human brain. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 190(2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2008.01.001>.
171. O’Rahilly, R., & Gardner, E. (1968). The early development of the knee joint in staged human embryos. *Journal of Anatomy*, 102(2), 289–299. <https://doi.org/10.1002/aja.1001340303>.
172. Outerbridge, R. E. (1961). The etiology of chondromalacia patellae. *J. Bone Joint Surg.*, 43, 752–757.

173. Pacheco, R. J., Ayre, C. A., & Bollen, S. R. (2011). Posterolateral corner injuries of the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 93-B(2), 194-197. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.93b2.25774>.
174. Paley, D. (1990). Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 250(&NA;), 81???104. <https://doi.org/10.1097/00003086-199001000-00011>.
175. Bhave, A., Shabtai, L., Ong, P., Standard, S. C., Paley, D., & Herzenberg, J. E. (2015). Custom knee device for knee contractures after internal femoral lengthening. *Orthopedics*, 38(7). <https://doi.org/10.3928/01477447-20150701-53>.
176. Paley, D., Harris, M., Debiparshad, K., & Prince, D. (2014). Limb lengthening by Implantable limb lengthening devices. *Techniques in Orthopaedics*, 29(2), 72-85.. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000072>.
177. Herzenberg, J. E., Scheufele, L. L., Paley, D., Bechtel, R., & Tepper, S. (1994). Knee range of motion in isolated femoral lengthening. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 301, 49???54. <https://doi.org/10.1097/00003086-199404000-00009>.
178. Prince, D. E., Herzenberg, J. E., Standard, S. C., & Paley, D. (2015). Lengthening with external fixation is effective in congenital femoral deficiency. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 473(10), 3261-3271. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4461-04562947>.
179. Solomin, L. N., Paley, D., Shchepkina, E. A., Vilensky, V. A., & Skomoroshko, P. V. (2013). A comparative study of the correction of femoral deformity between the Ilizarov apparatus and Ortho-SUV frame. *International Orthopaedics*, 38(4), 865-872. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2247-0>.
180. Kehr, P., & Kaech, D. L. (2014). John M. Rhee, Scott D. Boden, John M. Flynn EIC and Sam W. Wiesel: Operative techniques in spine surgery. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 24(5), 835-835. <https://doi.org/10.1007/s00590-014-1455-7>.

181. Paley, D., & Tetsworth, K. (1992). Mechanical Axis deviation of the lower limbs. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 280, 48-64. <https://doi.org/10.1097/00003086-199207000-00008>.
182. Paley, D., & Guardo, F. (2014). Lengthening reconstruction surgery for congenital femoral deficiency. *Advanced Techniques in Limb Reconstruction Surgery*, 245-299. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55026-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55026-3_13).
183. Lindblom, K. (1938). The Arthrographic appearance of the ligaments of the knee joint. *Acta Radiologica*, 19(6), 582-600. <https://doi.org/10.3109/00016923809137788>.
184. Pappas, A. M. (1983). Congenital abnormalities of the femur and related lower extremity malformations. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 3(1), 45-60. <https://doi.org/10.1097/01241398-198302000-00009>.
185. Pavlovich, R. I., & Nafarrate, E. B. (2002). Trivalent reconstruction for Posterolateral and lateral knee instability. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 18(1), 1-3. <https://doi.org/10.1053/jars.2002.29866>.
186. Perotto, A. (2011). Anatomical guide for the Electromyographer: The limbs and trunk. Charles C Thomas Publisher.
187. Petersen, W., & Zantop, T. (2007). Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 454, 35-47. <http://dx.doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802b4a59>.
188. Phisitkul, P., Wolf, B. R., & Amendola, A. (2006). Role of high tibial and distal femoral osteotomies in the treatment of lateral-posterolateral and medial instabilities of the knee. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 14(2), 96-104. <http://dx.doi.org/10.1097/01.jsa.0000212306.47323.83>.
189. Piziali, R. L., Seering, W. P., Nagel, D. A., & Schurman, D. J. (1980). The function of the primary ligaments of the knee in anterior-posterior and medial-lateral motions. *Journal of Biomechanics*, 13(9), 777-784. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(80\)90239-0](https://doi.org/10.1016/0021-9290(80)90239-0).
190. Poboży, T., & Kielar, M. (2016). Przegląd metod oceny ultrasonograficznej więzadła krzyżowego przedniego w niestabilności przedniej stawu kolanowego –

- diagnostyka Z dostępu tylnego. *Journal of Ultrasonography*, 16(66), 288-295. <https://doi.org/10.15557/JoU.2016.0029>.
191. Post, W. R. (1999). Current concepts clinical evaluation of patients with Patellofemoral disorders. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 15(8), 841-851. <https://doi.org/10.1053/ar.1999.v15.015084>.
192. Race, A., & Amis, A. A. (1996). Loading of the two bundles of the posterior cruciate ligament: An analysis of bundle function in A-P drawer. *Journal of Biomechanics*, 29(7), 873-879. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00161-1](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00161-1).
193. Radler, C., Antonietti, G., Ganger, R., & Grill, F. (2011). Recurrence of axial malalignment after surgical correction in congenital femoral deficiency and fibular hemimelia. *International Orthopaedics*, 35(11), 1683-1688. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1266-y3193965>.
194. Ranawat, A., Baker, C. L., Henry, S., & Harner, C. D. (2008). Posterolateral corner injury of the knee: Evaluation and management. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16(9), 506-518. <https://doi.org/10.5435/00124635-200809000-00003>.
195. Gabos, P. G., Rassi, G. E., & Pahys, J. (2005). Knee reconstruction in syndromes with congenital absence of the anterior cruciate ligament. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 25(2), 210-214. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000153874.74819.29>.
196. Georgiev, G. P. (2022). Epiligament or paratenon is more appropriate for describing the enveloping tissue of the cruciate ligaments of the human knee? *Folia Morphologica*, 81(1), 258-259. <https://doi.org/10.5603/fm.a2021.0021>.
197. Razek, A., Fouda, N., Elmetwaley, N., & Elbogdady, E. (2009). Sonography of the knee joint. *Journal of Ultrasound*, 12(2), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.jus.2009.03.002>.
198. Reeves, B., Roper, B., Salton, R., Baumann, A., Dimovski, R., Hadley-Miller, N., & Albright, J. (2024). Outcomes of Simultaneous Lengthening and ACL Reconstruction in Fibular Hemimelia: A Retrospective Case Series. Iowa. *Orthop J.*, 44(1), 93-98.

199. Reider, B. (1996). Medial collateral ligament injuries in athletes. *Sports Medicine*, 21(2), 147-156. <https://doi.org/10.2165/00007256-199621020-00005>.
200. Ricchetti, E. T., Sennett, B. J., & Huffman, G. R. (2008). Acute and chronic management of Posterolateral corner injuries of the knee. *Orthopedics*, 31(5), 479-488. <https://doi.org/10.3928/01477447-20080501-23>.
201. Robertson, P. L., Schweitzer, M. E., Bartolozzi, A. R., & Ugoni, A. (1994). Anterior cruciate ligament tears: Evaluation of multiple signs with MR imaging. *Radiology*, 193(3), 829-834. <https://doi.org/10.1148/radiology.193.3.7972833>.
202. Rossi, R., Dettoni, F., Bruzzone, M., Cottino, U., D'Elicio, D. G., & Bonasia, D. E. (2011). Clinical examination of the knee: Know your tools for diagnosis of knee injuries. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/1758-2555-3-25>.
203. Rossi, R., Bruzzone, M., Dettoni, F., Margheritini, F. (2010). In: Orthopedic Sports Medicine, Principles and Practice. Margheritini F, Rossi R, editor. Milan: Springer; Clinical examination of the knee.
204. Rothermich, M. A., Nepple, J. J., Raup, V. T., O'Donnell, J. C., & Luhmann, S. J. (2016). A comparative analysis of international knee documentation committee scores for common pediatric and adolescent knee injuries. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 36(3), 274-277. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000442>.
205. Roux, M. O., & Carlouz, H. (1999). Clinical examination and investigation of the cruciate ligaments in children with fibular Hemimelia. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 19(2), 247-251. <https://doi.org/10.1097/0124139819990300000022>
206. Rozbruch, S. R., Birch, J. G., Dahl, M. T., & Herzenberg, J. E. (2014). Motorized intramedullary nail for management of limb-length discrepancy and deformity. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 22(7), 403-409. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-22-07-403>.
207. Rudolph, K. S., Axe, M. J., Buchanan, T. S., Scholz, J. P., & Snyder-Mackler, L. (2001). Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9(2), 62-71. <https://doi.org/10.1007/s001670000166>.

208. Rue, C. J., Kilcoyne, C. K., Dickens, C. J., & Kluk, C. M. (2011). Diagnosis and treatment of injuries to the Posterolateral ligament complex. *Journal of Knee Surgery*, 24(03), 143-150. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1284726>.
209. Blakey, C., Saldanha, K., Broadley, P., & Fernandes, J. (2016). Defining patho-anatomy of the knee in congenital longitudinal lower limb deficiencies. *Journal of Limb Lengthening & Reconstruction*, 2(1), 48. <https://doi.org/10.4103/24553719.182576>
210. Sanchez, A. R., Sugalski, M. T., & LaPrade, R. F. (2006). Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 14(1), 2-11. <https://doi.org/10.1097/00132585-200603000-00002>.
211. Sanpera, I., Fixsen, J. A., Sparks, L. T., & Hill, R. A. (1995). Knee in congenital short femur. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 4(2), 159-163. <https://doi.org/10.1097/01202412-199504020-00007>.
212. Woo, S. L., Abramowitch, S. D., Kilger, R., & Liang, R. (2006). Biomechanics of knee ligaments: Injury, healing, and repair. *Journal of Biomechanics*, 39(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.025>.
213. Schafer, K. A., Minaie, A., & Nepple, J. J. (2020). Outcome metrics in pediatric sports medicine: Do PROMIS computer-adaptive testing metrics correlate with Pedi-IKDC? *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 40(7), e616-e620. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001508>
214. Schindler, O. S. (2011). Surgery for anterior cruciate ligament deficiency: A historical perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(1), 5-47. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1756-x>.
215. Schlepckow, P. (1987). Aplasia of the cruciate ligament: clinical, radiologic and arthroscopic aspects. *Beitrage zur Orthopadie und Traumatologie*, 34(7), 345-351.
216. Schoenecker, P. L., Cohn, A. K., Sedgwick, W. G., Manske, P. R., Salafsky, I., & Millar, E. A. (1984). Dysplasia of the knee associated with the syndrome of thrombocytopenia and absent radius. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 66(3), 421-427. <https://doi.org/10.2106/00004623-198466030-00015>.

217. Schrijvers, J. C., van den Noort, J. C., van der Esch, M., Dekker, J., & Harlaar, J. (2019). Objective parameters to measure (in)stability of the knee joint during gait: A review of literature. *Gait & Posture*, 70, 235-253. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.03.016>.
218. Schulz, M. S., Russe, K., Weiler, A., Eichhorn, H. J., & Strobel, M. J. (2003). Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 123(4), 186-191. <https://doi.org/10.1007/s00402-002-0471-y>.
219. Seebacher, J. R., Inglis, A. E., Marshall, J. L., & Warren, R. F. (1982). The structure of the posterolateral aspect of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 64(4), 536-541. <https://doi.org/10.2106/00004623-198264040-00008>.
220. Serafin-Król, M., & Maliborski, A. (2017). Diagnostic errors in musculoskeletal ultrasound imaging and how to avoid them. *Journal of Ultrasonography*, 17(70), 188-196. <https://doi.org/10.15557/JoU.2017.0028>.
221. Shabtai, L., Specht, S. C., Standard, S. C., & Herzenberg, J. E. (2014). Internal lengthening device for congenital femoral deficiency and fibular Hemimelia. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 472(12), 3860-3868. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3572-34397748>.
222. Shadi, M., Janusz, P., Koczewski, P., Walczak, M., Kraśny, J., & Kotwicki, T. (2019). Skin necrosis after SUPERknee procedure – typical versus modified surgical approach. *Journal of Medical Science*, 88(2), 75-81. <https://doi.org/10.20883/jms.337>.
223. Shannon, S. F., Houdek, M. T., Wyles, C. C., Yuan, B. J., Cross, W. W., Cass, J. R., & Sems, S. A. (2017). Allgöwer–donati versus vertical mattress suture technique impact on perfusion in ankle fracture surgery: A randomized clinical trial using Intraoperative angiography. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(2), 97-102. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000731>.
224. Sheehan, F. T., Derasari, A., Fine, K. M., Brindle, T. J., & Alter, K. E. (2010). Q-angle and J-sign: Indicative of Maltracking subgroups in Patellofemoral pain. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 468(1), 266-275. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0880-0>.

225. Singh, S., Lahiri, A., & Iqbal, M. (2006). The results of limb lengthening by callus distraction using an extending intramedullary nail (Fitbone) in non-traumatic disorders. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 88-B(7), 938-942. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B7.17618>.
226. Skovgaard Larsen, L. P., & Rasmussen, O. S. (2000). Diagnosis of acute rupture of the anterior cruciate ligament of the knee by sonography. *European Journal of Ultrasound*, 12(2), 163-167. [https://doi.org/10.1016/s0929-8266\(00\)00109-9](https://doi.org/10.1016/s0929-8266(00)00109-9).
227. Slocum, D. B., & Larson, R. L. (1968). Rotatory instability of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 50(2), 211-225. <https://doi.org/10.2106/00004623-196850020-00001>.
228. Stallone, S., Selleri, F., Trisolino, G., Grassi, A., Macchiarola, L., Magnani, M., ... & Catani, F. (2020). Good subjective outcomes, stable knee and high return to sport after tibial Eminence avulsion fracture in children. *Children*, 7(10), 173. <https://doi.org/10.3390/children7100173>.
229. Steckel, H., Klinger, H., Baums, M., & Schultz, W. (2005). Kreuzbandrekonstruktion in Kniegelenken MIT kongenitaler Kreuzbandaplasie. *Sportverletzung Sportschaden*, 19(03), 130-133. <https://doi.org/10.1055/s-2005-858474>.
230. Strobel, M., & Stedtfeld, H. (2012). Diagnostic evaluation of the knee. Springer Science & Business Media.
231. Sugita, T., & Amis, A. A. (2001). Anatomic and biomechanical study of the lateral collateral and Popliteofibular ligaments. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(4), 466-472. <https://doi.org/10.1177/03635465010290041501>.
232. Terry, G. C., & LaPrade, R. F. (1996). The Posterolateral aspect of the knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 732-739. <https://doi.org/10.1177/036354659602400606>.
233. Thaller, P. H., Fürmetz, J., Wolf, F., Eilers, T., Mutschler, W. (2014). Limb lengthening with fully implantable magnetically actuated mechanical nails (PHENIX®)—preliminary results. *Injury*, 45,60–65. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.10.029>

234. Thomas, N., Jackson, A., & Aichroth, P. (1985). Congenital absence of the anterior cruciate ligament. A common component of knee dysplasia. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 67-B(4), 572-575. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.67b4.4030852>.
235. Thompson, Jon C. Netter's (2002). *Concise Atlas of Orthopaedic Anatomy*. Teterboro, NJ :Icon Learning Systems.
236. Tolo, V. T. (1981). Congenital absence of the menisci and cruciate ligaments of the knee. A case report. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 63(6), 1022-1024. <https://doi.org/10.2106/00004623-198163060-00025>.
237. Tomaszewski, R., Smyczek, D., Woś-Cieśla, I., Kluczevska, E., Koszutski, T., & Wiktor, Ł. (2020). Developmental changes in ACLs and semitendinosus tendons dimensions according to age in children. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01845-w>.
238. Tsai, W., Chiang, Y., & Lew, R. J. (2015). Sonographic examination of knee ligaments. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(8), e77-e79. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000313>.
239. Uhthoff, H. K., & Ogata, S. (1994). Early intrauterine presence of congenital dislocation of the knee. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 14(2), 254-257. <https://doi.org/10.1097/01241398-199403000-00023>.
240. van der Velden, C., van der Steen, M., Leenders, J., van Douveren, F., Janssen, R., & Reijman, M. (2019). Pedi-IKDC or KOOS-child: Which questionnaire should be used in children with knee disorders? *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2600-6>.
241. van Grinsven, S., van Cingel, R. E., Holla, C. J., & van Loon, C. J. (2010). Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(8), 1128-1144. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-1027-2>.
242. Veltri, D. M., & Warren, R. F. (1994). Operative treatment of Posterolateral instability of the knee. *Clinics in Sports Medicine*, 13(3), 615-627. [https://doi.org/10.1016/s0278-5919\(20\)30313-6](https://doi.org/10.1016/s0278-5919(20)30313-6).

243. Claes, S., Vereecke, E., Maes, M., Victor, J., Verdonk, P., & Bellemans, J. (2013). Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *Journal of Anatomy*, 223(4), <https://doi.org/10.1111/joa.12087>
244. Vidal-Lesso, A., Ledesma-Orozco, E., Lesso-Arroyo, R., & Rodríguez-Castro, R. (2011). Dynamic response of femoral cartilage in knees with Unicompartmental osteoarthritis. *Journal of Applied Research and Technology*, 9(02). <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2011.9.02.445>.
245. Walker, J. L., Milbrandt, T. A., Iwinski, H. J., & Talwalkar, V. R. (2019). Classification of cruciate ligament dysplasia and the severity of congenital fibular deficiency. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 39(3), 136-140. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000910>.
246. Wang, J., Wu, H., Dong, F., Li, B., Wei, Z., Peng, Q., ... & Xu, J. (2018). The role of ultrasonography in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 579-586. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1436196>.
247. Wang, L., Yang, T., Huang, Y., Chou, W., Huang, C., & Wang, C. (2016). Evaluating posterior cruciate ligament injury by using two-dimensional ultrasonography and sonoelastography. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(10), 3108-3115. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4139-5>.
248. Warren, L. F., & Marshall, J. L. (1979). The supporting structures and layers on the medial side of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 61(1), 56-62. <https://doi.org/10.2106/00004623-197961010-00011>.
249. Warren, L. F., Marshall, J. L., & Girgis, F. (1974). The prime static stabilizer of the medial side of the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 56(4), 665-674. <https://doi.org/10.2106/00004623-197456040-00002>.
250. Watanabe, Y., Moriya, H., Takahashi, K., Yamagata, M., Sonoda, M., Shimada, Y., & Tamaki, T. (1993). Functional anatomy of the posterolateral structures of the knee. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 9(1), 57-62. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(05\)80344-5](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(05)80344-5).

251. Williams, G. N., Barrance, P. J., Snyder-Mackler, L., Axe, M. J., & Buchanan, T. S. (2003). Specificity of muscle action after anterior cruciate ligament injury. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(6), 1131-1137. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00106-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00106-2).
252. Williams, G. N., Chmielewski, T., Rudolph, K. S., Buchanan, T. S., & Snyder-Mackler, L. (2001). Dynamic knee stability: Current theory and implications for clinicians and scientists. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 31(10), 546-566. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.10.546>.
253. Walker, H. K., Hall, W. D., & Hurst, J. W. (1990). Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations. Butterworth-Heinemann.
254. Wojtys, E. M., & Huston, L. J. (1994). Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *The American Journal of Sports Medicine*, 22(1), 89-104. <https://doi.org/10.1177/036354659402200116>.
255. Wolfe, S., Varacallo, M., Thomas, J. D., Carroll, J. J., & Kahwaji, C. I. (2024). Patellar Instability. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*.
256. Wroble, R. R., & Lindenfeld, T. N. (1988). The stabilized Lachman test. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 237(&NA;), 209-212. <https://doi.org/10.1097/00003086-198812000-00030>.
257. Yakushkin, Y., Katsalap, Y., & Khmyzov, S. (2023). Validation of Pedi-IKDC scale and intercultural adaptation to Ukrainian language. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3-4), 97-101. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-497-101>.
258. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Zlatnik, R. (2024). Parameters of the intercondylar fossa of the femur in children in normal conditions and with congenital malformations of the lower limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2, 61-68. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024261-68>.
259. Yakushkin, Y., Khmyzov, S., & Hrytsenko, A. (2024). The treatment of knee joint instability in congenital limb deformities. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 4, 41-47. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024441-47>.

260. Yamamoto, M., & Hirohata, K. (1994). Anatomical study of the meniscomfemoral ligaments of the knee. *Kobe J Med Sci*, 37, 209–226.
261. Yamamoto, R. K. (1986). Arthroscopic repair of the medial retinaculum and capsule in acute patellar dislocations. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 2(2), 125-131. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(86\)80051-2](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(86)80051-2).
262. Yoong, P., & Mansour, R. (2014). Internal derangement of the knee in fibular hemimelia: Radiographic and MRI findings. *The Knee*, 21(3), 749-756. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2014.02.017>.
263. Zorli, I. P., Gallone, D., Guerrasio, S., Berlato J., & Marinoni, E. C. (2004). Congenital absence of the anterior cruciate ligament associated with discoid meniscus. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 5(2), 106–109.
264. Golovakha, M., Krasnoperov, S., Titarchuk, R., Zabelin, I., Tverdovsky, A., & Orlyanski, W. (2017). Results of anterior cruciate ligament restoration using «all inside» techniques. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (2), 84–91. <https://doi.org/10.15674/0030-59872017284-91>.
265. Гуль В. Є. Структура і механічні якості полімерів : 4-те вид., перероб. і доп. Київ : Наука, 1966. 356 с.
266. Травматологія і ортопедія : за ред. проф. О. М. Хвисяюка. Київ : Вища школа, 2013. 656 с.
267. Утримувач пластини фіксатора для тимчасового блокування наросткової зони довгих кісток кінцівок : пат. 150993 Україна : А61В 17/56 (2006.01). № u 202107623 ; заявл. 10.02.2022; опубл. 18.05.2022, бюл. № 20/2022.
268. Фіксатор для тимчасового блокування наросткової зони довгих кісток : пат. 151188 Україна : А61В 17/56. (2006.01). № u 202107435 ; заявл. 20.12.2021 ; опубл. 15.06.2022, Бюл. № 24/2022.
269. Садоф'єва В. І. Нормальна рентгеноанатомія кістково-суглобової системи дітей. К. : Медицина, 1990. 216 с.
270. Голка Г. Г., Бур'янов О. А., Климовицький В. Г. Травматологія та ортопедія : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2013. 400 с.

271. Тяжелов А. А., Карпінський М. Ю., Юрченко Д. А., Карпінська О. Д., Гончарова Л. Є. Математичне моделювання як інструмент дослідження функції м'язів тазового пояса при диспластичному коксартрозі. *Травма*. 2022. Т.23, №1. С. 4-11. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.1.23.2022.876>
272. Tyagelov, O., Karpinska, O., Karpinsky, M., & Branitsky, O. (2020). Influence of hip joint contracts for hips muscular. *Georgian medical news*, №9(306). 10-18.
273. yazhelov, O., Karpinsky, M., Karpinskaya, E., Goncharova, L., & Klimovitsky, R. (2022). Modeling the work of pelvic girdle muscles after hip replacement in different size of global femoral offset. *Trauma*, 18(6), 133–140. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.6.18.2017.121191>.
274. Хмизов С. О. Подовження та корекція та корекція деформацій стегна в дітей та підлітків компресійно-дистракційними апаратами на основі стрижнів : автореф. ... дис. канд. мед. Наук : Київ, 1993. 20 с.
275. Якушкин Є. Ю., Хмизов С. О. Аналіз ефективності методики SUPER knee за D. Paley та модифікацій до неї при нестабільності колінного суглоба при вроджених повздовжніх вадах розвитку нижніх кінцівок. *Актуальні проблеми ортопедії та травматології* : ювілейний зб. наук. пр. [Інтернет]. / Харків, 2024. С. 131-137. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.
276. Якушкин Є. Ю., Хмизов С. О. , Карпінський М. Ю. , Яресько О. В. Аналіз напружено-деформованого стану зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок. *Актуальні проблеми ортопедії та травматології* : ювілейний зб. наук. пр. [Інтернет]. / Харків, 2024. С. 118-130. <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>.
277. Якушкін Є. Ю., Хмизов С. О., Кацалап Є. С. Світові тенденції у лікуванні нестабільності колінного суглоба у дітей з поздовжніми вадами розвитку нижніх кінцівок. *Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування* : матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 2-4 вересня / ЗДМУ, Запоріжжя-Приморськ, 2021. С. 94.
278. Якушкін Є., Хмизов С., Кацалап Є., Пашенко А. Нестабільність колінного суглоба у дітей з аномаліями розвитку нижніх кінцівок. Ускладнення

хірургічного лікування чи окрема патологія? *Актуальні питання лікування патології суглобів та ендопротезування* : матеріали IV наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 3 – 5 вересня 2020 р. / ЗДМУ, ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». – Запоріжжя, 2020.

**ДОДАТКИ**

## Додаток А

## Адаптація та валідація опитувальника Pedi-IKDC

1. Оригінал форми пацієнта опитувальника Pedi-IKDC. Текст створеного україномовного опитувальника Pedi-IKDC висвітлено на рисунках А1; А2; А3

Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – <b>PATIENT FORM</b>																								
<b>Section A: GENERAL INFORMATION</b>																								
1. Study ID: _____																								
2. Date distributed: _____																								
<b>Section B: SURVEY</b>																								
Date you injured your knee: _____																								
<b>We would like to learn more about your injured knee. Each of the questions asks you a different question about your injured knee. Please answer each question below.</b>																								
<b>SYMPTOMS</b>																								
1. If you were asked to do the activities below, what is the most you could do <u>today</u> without making your injured knee hurt a lot?																								
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub> Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> Sort of hard activities like walking fast or jogging <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> Light activities like walking at a normal speed <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> I can't do any of the activities listed above because my knee hurts too much now																								
2. During the <u>past 4 weeks</u> , or <u>since your injury</u> , how much of the time did your injured knee hurt?																								
Never hurt	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">0</td><td style="padding: 0 10px;">1</td><td style="padding: 0 10px;">2</td><td style="padding: 0 10px;">3</td><td style="padding: 0 10px;">4</td><td style="padding: 0 10px;">5</td><td style="padding: 0 10px;">6</td><td style="padding: 0 10px;">7</td><td style="padding: 0 10px;">8</td><td style="padding: 0 10px;">9</td><td style="padding: 0 10px;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hurt all of the time
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
3. How badly does your injured knee hurt <u>today</u> ?																								
Does not hurt at all	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">0</td><td style="padding: 0 10px;">1</td><td style="padding: 0 10px;">2</td><td style="padding: 0 10px;">3</td><td style="padding: 0 10px;">4</td><td style="padding: 0 10px;">5</td><td style="padding: 0 10px;">6</td><td style="padding: 0 10px;">7</td><td style="padding: 0 10px;">8</td><td style="padding: 0 10px;">9</td><td style="padding: 0 10px;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hurts so much I can't stand it
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
4. During the <u>past 4 weeks</u> , or <u>since your injury</u> , how <b>hard has it been to move or bend</b> your injured knee?																								
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub> Not at all hard <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> A little hard <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> Somewhat hard <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> Very hard <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> Extremely hard																								

Рис. А1. Оригінальний варіант pedi – IKDC, форма пацієнта, 1 аркуш

<b>Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – PATIENT FORM</b>
---

5. During the past 4 weeks, or since your injury, how **puffy (or swollen)** was your injured knee?
- <sub>1</sub> Not at all puffy  
<sub>2</sub> A little puffy  
<sub>3</sub> Somewhat puffy  
<sub>4</sub> Very puffy  
<sub>5</sub> Extremely puffy
6. If you were asked to do the activities below, what is the most you could do today without making your injured knee **puffy (or swollen)**?
- <sub>1</sub> Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
<sub>2</sub> Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
<sub>3</sub> Sort of hard activities like walking fast or jogging  
<sub>4</sub> Light activities like walking at a normal speed  
<sub>5</sub> I can't do any of the activities listed above because my injured knee is puffy even when I rest
7. During the past 4 weeks, or since your injury, did your injured knee ever **get stuck in place (lock)** so that you could not move it?      **Yes**      **No**  
<sub>1</sub>      <sub>2</sub>
8. During the past 4 weeks, or since your injury, did your injured knee **ever feel like it was getting stuck (catching)**, but you could still move it?      **Yes**      **No**  
<sub>1</sub>      <sub>2</sub>
9. If you were asked to do the activities below, what is the most you could do today without your injured knee **feeling like it can't hold you up**?
- <sub>1</sub> Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
<sub>2</sub> Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
<sub>3</sub> Sort of hard activities like walking fast or jogging  
<sub>4</sub> Light activities like walking at a normal speed  
<sub>5</sub> I can't do any of the activities listed above because my injured knee feels like it can't hold me up

---

**SPORTS ACTIVITIES**


---

10. What is the most you can do on your injured knee **most of the time**?
- <sub>1</sub> Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
<sub>2</sub> Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
<sub>3</sub> Sort of hard activities like walking fast or jogging  
<sub>4</sub> Light activities like walking at a normal speed  
<sub>5</sub> I can't do any of the activities listed above most of the time

**Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – PATIENT FORM**

11. Does your injured knee affect your ability to:

	No, not at all	Yes, a little	Yes, somewhat	Yes, a lot	I can't do this
a. Go up stairs?	1	2	3	4	5
b. Go down stairs?	1	2	3	4	5
c. Kneel on your injured knee?	1	2	3	4	5
d. Squat down like a baseball catcher?	1	2	3	4	5
e. Sit in a chair with your knees bent and feet flat on the floor?	1	2	3	4	5
f. Get up from a chair?	1	2	3	4	5
g. Run?	1	2	3	4	5
h. Jump and land on your injured knee?	1	2	3	4	5
i. Start and stop moving quickly?	1	2	3	4	5

**FUNCTION**

12. How well did your knee work **before** you injured it?

I could not do anything at all	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I could do anything I wanted to
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

13. How well does your knee work **now**?

I am not able to do anything at all	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I am able to do anything I want to do
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

14. Who completed the questionnaire?      <sub>1</sub> Child alone      <sub>2</sub> Child with help from parent/adult

15. Date questionnaire completed?           /      /          

MM    DD    YYYY

Рис. А3. Оригінальний варіант Pedi-IKDC, форма пацієнта, 3 аркуш

2. Оригінал форми розрахунку Pedi-IKDC. Текст створеного україномовного опитувальника Pedi-IKDC висвітлено на рисунках А4; А5; А6

<b>Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – SCORING FORM</b>												
<b>Section A: GENERAL INFORMATION</b>												
1.	Study ID:	_____										
2.	Date distributed:	___	/	___	/	___	---	---	---	---	---	
<b>Section B: SYMPTOMS &amp; SPORTS ACTIVITIES</b>												
Date you injured your knee:    ___ / ___ / ___												
We would like to learn more about your injured knee. Each of the questions asks you a different question about your injured knee. Please answer each question below.												
<b>SYMPTOMS</b>												
1.	If you were asked to do the activities below, what is the most you could do <u>today</u> without making your injured knee hurt a lot?											
4 pts	<input type="checkbox"/>	Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer										
3 pts	<input type="checkbox"/>	Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis										
2 pts	<input type="checkbox"/>	Sort of hard activities like walking fast or jogging										
1 pt	<input type="checkbox"/>	Light activities like walking at a normal speed										
0 pts	<input type="checkbox"/>	I can't do any of the activities listed above because my knee hurts too much now										
2.	During the <u>past 4 weeks</u> , or <u>since your injury</u> , how much of the time did your injured knee hurt?											
Never	10 pts	9 pts	8 pts	7 pts	6 pts	5 pts	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts	All of the time
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.	How badly does your injured knee hurt <u>today</u> ?											
Does not hurt at all	10 pts	9 pts	8 pts	7 pts	6 pts	5 pts	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts	Hurts so much I can't stand it
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4.	During the <u>past 4 weeks</u> , or <u>since your injury</u> , how <b>hard has it been to move or bend</b> your injured knee?											
4 pts	<input type="checkbox"/>	Not at all hard										
3 pts	<input type="checkbox"/>	A little hard										
2 pts	<input type="checkbox"/>	Somewhat hard										
1 pt	<input type="checkbox"/>	Very hard										
0 pts	<input type="checkbox"/>	Extremely hard										

Рис. А4. Оригінал форми розрахунку Pedi-IKDC, 1 аркуш

<b>Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – SCORING FORM</b>
---

5. During the past 4 weeks, or since your injury, how **puffy (or swollen)** was your injured knee?
- 4 pts  Not at all puffy  
 3 pts  A little puffy  
 2 pts  Somewhat puffy  
 1 pt  Very puffy  
 0 pts  Extremely puffy
6. If you were asked to do the activities below, what is the most you could do today without making your injured knee **puffy (or swollen)**?
- 4 pts  Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
 3 pts  Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
 2 pts  Sort of hard activities like walking fast or jogging  
 1 pt  Light activities like walking at a normal speed  
 0 pts  I can't do any of the activities listed above because my injured knee is puffy even when I rest
7. During the past 4 weeks, or since your injury, did your injured knee ever **get stuck in place (lock)** so that you could not move it? Yes  0 pts    No  1 pt
8. During the past 4 weeks, or since your injury, did your injured knee **ever feel like it was getting stuck (catching)**, but you could still move it? Yes  0 pts    No  1 pt
9. If you were asked to do the activities below, what is the most you could do today without your injured knee **feeling like it can't hold you up**?
- 4 pts  Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
 3 pts  Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
 2 pts  Sort of hard activities like walking fast or jogging  
 1 pt  Light activities like walking at a normal speed  
 0 pts  I can't do any of the activities listed above because my injured knee feels like it can't hold me up

---

**SPORTS ACTIVITIES**


---

10. What is the most you can do on your injured knee **most of the time**?
- 4 pts  Very hard activities like jumping or turning fast to change direction, like in basketball or soccer  
 3 pts  Hard activities like heavy lifting, skiing or tennis  
 2 pts  Sort of hard activities like walking fast or jogging  
 1 pt  Light activities like walking at a normal speed  
 0 pts  I can't do any of the activities listed above most of the time

**Pedi-IKDC Subjective Knee Evaluation Form – SCORING FORM**

11. Does your injured knee affect your ability to:

	No, not at all	Yes, a little	Yes, somewhat	Yes, a lot	I can't do this
a. Go up stairs?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
b. Go down stairs?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
c. Kneel on your injured knee?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
d. Squat down like a baseball catcher?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
e. Sit in a chair with your knees bent and feet flat on the floor?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
f. Get up from a chair?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
g. Run?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
h. Jump and land on your injured knee?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts
i. Start and stop moving quickly?	4 pts	3 pts	2 pts	1 pt	0 pts

12. How well did your knee work **before** you injured it?

I could not do anything at all	0 pts	0 pts	0 pts	0 pts	0 pts	0 pts	0 pts	0 pts	0 pt	0 pts	I could do anything I wanted to
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

13. How well does your knee work **now**?

I am not able to do anything at all	0 pts	1 pt	2 pts	3 pts	4 pts	5 pts	6 pts	7 pts	8 pts	9 pt	10 pts	I am able to do anything I want to do
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

14. Who completed the questionnaire?      <sub>1</sub> Child alone      <sub>2</sub> Child with help from parent/adult

15. Date questionnaire completed?           /      /     

MM    DD    YYYY

4. Оригінал електронної форми калькулятора до Pedi-IKDC відображено на рисунку А7.

IKDC Subjective Knee Form Calculator			
Patient ID Number:			
Patient Gender (Male=1, Female=2):			
Patient Age (in Years):			
Item #	Response	Key	Maximum
1		"Very strenuous" = 4	4
2		0 to 10 (10 = "Never")	10
3		0 to 10 (10 = "No pain")	10
4		"Not at all" = 4	4
5		"Very strenuous" = 4	4
6		"No" = 1; "Yes" = 0	1
7		"Very strenuous" = 4	4
8		"Very strenuous" = 4	4
9a		"Not difficult" = 4	4
9b		" "	4
9c		" "	4
9d		" "	4
9e		" "	4
9f		" "	4
9g		" "	4
9h		" "	4
9i		" "	4
10a		0 to 10 (not used in total score)	X
10b		0 to 10 (10 = "No limitation...")	10
	Press F9 to score		
	IKDC TOTAL SCORE:		
	PERCENTILE:	(COMPARED WITH SAME GENDER AND AGE GROUP)	

Рис/ А7. Приклад оригіналу електронної форми калькулятора до Pedi-IKDC

4. Створений та погоджений з правовласником оригіналу україномовний варіант Pedi-IKDC. Текст створеного україномовного опитувальника Pedi-IKDC висвітлено на рисунках А8; А9; А10

## Розділ А. Загальна інформація

1. (ПІБ) № історії хвороби: \_\_\_\_\_
2. Дата дослідження: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
день місяць рік

## Розділ Б. Опитування

Дата пошкодження колінного суглоба: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
день місяць рік

**Ми хотіли б дізнатись більше про пошкодження вашого колінного суглоба. Тому просимо дати відповіді на наступні запитання.**

## Симптоми

1. Які із запропонованих нижче дій ви можете виконати без відчуття болю у колінному суглобі?

- <sub>1</sub> Дуже інтенсивні навантаження, такі як стрибки або швидкі розвороти, як у баскетболі чи футболі
- <sub>2</sub> Інтенсивні навантаження, такі як важка атлетика, лижі чи теніс.
- <sub>3</sub> Навантаження середньої інтенсивності, пов'язані зі швидкою ходьбою або біг підтопцем.
- <sub>4</sub> Легкі навантаження, такі як ходьба зі звичайною швидкістю.
- <sub>5</sub> Я не можу виконувати жодної із перелічених вище дій, оскільки відчуваю біль.

2. Скільки разів Ви відчували біль у пошкодженому колінному суглобі (протягом останніх 4 тижнів або після травми)?

Не відчував болю	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Постійний біль
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

3. На скільки сильно зараз болить пошкоджений колінний суглоб?

Зовсім не болить	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Нестерпний біль
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

4. Наскільки складно було рухатися або згинати пошкоджений колінний суглоб протягом останніх 4 тижнів або після травми?

- <sub>1</sub> Зовсім не складно(без обмежень)
- <sub>2</sub> Незначна складність(дискомфорт)
- <sub>3</sub> Середньої складності
- <sub>4</sub> Складно
- <sub>5</sub> Дуже складно

Рис. А8. Український варіант pedi – IKDC, 1 аркуш

5. Наскільки набряклим був пошкоджений колінний суглоб протягом останніх 4 тижнів або після травми?
- <sub>1</sub> Набряку не було
  - <sub>2</sub> Незначний набряк
  - <sub>3</sub> Помітний набряк
  - <sub>4</sub> Сильний набряк
  - <sub>5</sub> Дуже сильний набряк
6. Які з найважчих запропонованих нижче дій ви можете виконувати не спровокувавши появу набряку у колінному суглобі??
- <sub>1</sub> Дуже інтенсивні навантаження, такі як стрибки або швидкі розвороти, як у баскетболі чи футболі
  - <sub>2</sub> Інтенсивні навантаження, такі як важка атлетика, лижі чи теніс.
  - <sub>3</sub> Навантаження середньої інтенсивності, пов'язані зі швидкою ходьбою або біг підтюпцем.
  - <sub>4</sub> Легкі навантаження, такі як ходьба зі звичайною швидкістю.
  - <sub>5</sub> Я не можу зараз виконати ні одну із вправ тому, що травмований колінний суглоб набрякне навіть під час відпочинку
7. За останні 4 тижні чи з моменту травми Ваш травмований колінний суглоб блокувався(фіксувався) так що ним не можливо було поворухнути? **Так** <sub>1</sub> **Ні** <sub>2</sub>
8. За останні 4 тижні чи з моменту травми чи відчували, що в Вашому травмованому колінному суглобі щось застрягло або чіпляється, але суглобом можливо було рухати? **Так** <sub>1</sub> **Ні** <sub>2</sub>
9. Які з найважчих запропонованих нижче дій ви можете впевнено виконувати не завдаючи шкоди колінному суглобу??
- <sub>1</sub> Дуже інтенсивні навантаження, такі як стрибки або швидкі розвороти, як у баскетболі чи футболі
  - <sub>2</sub> Інтенсивні навантаження, такі як важка атлетика, лижі чи теніс.
  - <sub>3</sub> Навантаження середньої інтенсивності, пов'язані зі швидкою ходьбою або біг підтюпцем.
  - <sub>4</sub> Легкі навантаження, такі як ходьба зі звичайною швидкістю.
  - <sub>5</sub> Я не можу зараз виконати ні одне завдання так як травмований колінний суглоб не витримує мене

#### Спортивна активність

10. Які навантаження може витримувати пошкоджений колінний суглоб протягом тривалого часу?
- <sub>1</sub> Дуже інтенсивні навантаження, такі як стрибки або швидкі розвороти, як у баскетболі чи футболі
  - <sub>2</sub> Інтенсивні навантаження, такі як важка атлетика, лижі чи теніс.
  - <sub>3</sub> Навантаження середньої інтенсивності, пов'язані зі швидкою ходьбою або біг підтюпцем.
  - <sub>4</sub> Легкі навантаження, такі як ходьба зі звичайною швидкістю.
  - <sub>5</sub> Більшу частину часу я не можу виконувати перераховані вправи.

Рис. А9. Український варіант *pedi* – IKDC, 2 аркуш



## Додаток Б

Таблиця значень індексів параметрів МЯСК за рентгенографії КС в проекції тонелю для різних вікових груп

Індекси	Вікові групи	Параметр	Стандартне відхилення
С	6(18-15)	0,93	$\pm 0,16$
	5(14-12)	0,97	$\pm 0,15$
	4(11-8)	1,34	$\pm 0,41$
	3(7-6)	1,79	$\pm 0,33$
	2(5-3,5)	2,51	$\pm 0,35$
	1(3-2)	2,87	$\pm 0,44$
А	6(18-15)	0,32	$\pm 0,04$
	5(14-12)	0,32	$\pm 0,05$
	4(11-8)	0,39	$\pm 0,05$
	3(7-6)	0,35	$\pm 0,03$
	2(5-3,5)	0,38	$\pm 0,05$
	1(3-2)	0,4	$\pm 0,07$
В	6(18-15)	2,82	$\pm 0,29$
	5(14-12)	3,07	$\pm 0,47$
	4(11-8)	2,57	$\pm 0,33$
	3(7-6)	2,8	$\pm 0,24$
	2(5-3,5)	2,7	$\pm 0,3$
	1(3-2)	2,55	$\pm 0,33$

## Додаток В

### Програма реабілітації

Фаза 0. (приблизно 5-7 днів) – передопераційна підготовка:

1. Навчання виконувати комплекс стартових вправ:
  - Ізометричне напруження квадрицепса стегна [116, 217].
  - Підйом прямої ноги вгору (положення лежачи на спині, руки випрямлені та відведені на  $25^{\circ}$  від тулуба для створення додаткової опори, вчимо дитину піднімати випрямлену нижню кінцівку до рівня  $75^{\circ}$  та утримувати верхнє положення) [59].
    - Відведення нижньої кінцівки до  $40^{\circ}$  (положення лежачи на спині, руки випрямлені та відведені на  $25^{\circ}$  від тулуба для створення додаткової опори, вчимо дитину відводити випрямлену нижню кінцівку до  $40^{\circ}$ ) [48].
    - «Ковзанка» (положення лежачи на спині, вчимо дитину згинати кінцівку в КС не відриваючи п'яту від поверхні ліжка).
    - Розгинання КС (положення сидячи на стільчику(принципово стілець з твердою поверхнею) щоб край стільчика знаходився в підколінній області, руками дитина тримається за поверхню стільчика та вчиться згинати та розгинати кінцівку в КС) [217].
    - Тильна та подошвна флексія (виконується за відсутності порушення функції надп'яtkово-гомилкового суглоба та з допомогою реабілітолога або батьків. Положення лежачи на спині, надп'яtkово-гомилковий суглоб утримується лівою рукою супроводжуючого, правою рукою створюється супротив по подошвеній поверхні стопи, вчимо дитину напружувати литковий м'яз тиснувши стопою та імітуючи натиснення на педаль) [35, 241].
    - Кругові рухи стопою (положення лежачи на спині, вчимо дитину колоподібним рухам стопою за часовою та проти часової стрілки) [241].
    - Вчимо дитину ходити за допомогою милиць.

2. Підбір ортезу. Рекомендовано в ранньому післяопераційному періоді використовувати зйомну гіпсову лонгету яка фіксується еластичним бинтом із подальшим переходом на ортез на всю кінцівку з шарніром КС із функцією блокування шарніру.

3. Навчання батьків або опікунів навикам масажу.

Фаза 1. (0-6 день):

1. Ортезування.
2. Медикаментозна терапія.
3. Постільний режим.
4. Перев'язки за необхідності.
5. Видалення дренажу на 3 добу.

Фаза 2. (7-14 день)

1. Контроль ефективності медикаментозної терапії та стану п/о рани.
2. Ізометричне напруження квадріцепса стегна
3. Масаж м'язів гомілки.

Фаза 3. Післяопераційний період III (15-25 день):

1. Ізометричне напруження квадріцепса стегна
2. Підйом прямої ноги вгору до  $35^{\circ}$  у заблокованому ортезі або лонгеті.
3. Відведення нижньої кінцівки в ортезі
4. Використання ударно-хвильової терапії
5. Масаж всієї кінцівки, без залучення п/о зони.
6. Заміна гіпсової лонгети на ортез.
7. За допомогою тренера розпочинати пасивні рухи в КС. Найкраще помістити дитину в положення лежачи на спині і поступово пружними рухами відновлювати рухливість у КС. Якщо дитина підсвідомо напружує м'язи, то не варто того боятися – це звичайна захисна реакція. У цьому випадку буде достатньо під н/3 гомілки поставити валик діаметром 10-12 см і з часом його збільшувати. Це поступово приведе до згинання в КС без завдання фізичного і

психологічного страждання дитині. У подальшому за наявності проводимо пасивну розробку механічними апаратами типу ARTROMOT чи KINETEK.

8. Проводимо вертикалізацію дитини, без навантаження на кінцівку та зі заблокованим ортезом.

9. Кругоподібні рухи стопою.

10. Тильна та підошовна флексія.

Фаза 4. (25-50 день):

1. Ізометричне напруження квадрицепса стегна.

2. Підйом прямої ноги вгору до  $70^{\circ}$  в заблокованому ортезі.

3. Відведення нижньої кінцівки в ортезі.

4. Розпочинаємо поступове осьове навантаження на кінцівку за умови досягнення рівної довжини кінцівок (за необхідності використовуємо ортопедичні вироби для корекції вкорочення).

5. «Ковзанка».

6. Розгинання КС сидячи на стільчику.

7. Колоподібні рухи стопою.

8. Тильна та підошовна флексія.

Фаза 5:

1. Дозволяємо навантаження без милиць (для післяопераційних пацієнтів обов'язково в ортезі протягом наступних 30 днів).

2. Відновлюємо фізіологічну біомеханіку руху, а саме обов'язкова компенсація різної довжини кінцівки, стабілізація надп'яtkово-гомiлкового суглоба в разі патології (часто зустрічається за фібулярній геміmelії) та навчаємо дітей рівній ході.

3. Активно розроблюємо обсяг рухів у КС, мета досягнути згинання в КС не менше  $85^{\circ}$

4. Проводимо електростимуляцію прямого брюшка квадрицепса.

5. Масаж (під час проведення масажу не потрібно чіпати зону наколінка і жодному випадку не варто рухати ним у сторони).

6. Навчаємо дитину виконувати вправи на підйом прямої н/кінцівки вперед, відведення в сторону та назад у положенні стоячи (необхідно забезпечити дитині точку опори).

7. Розгинання КС з утриманням у крайній точці з додатковим навантаженням, у подальшому тренування можна проводити на вантажоблочних тренажерах окремо на кожну кінцівку.

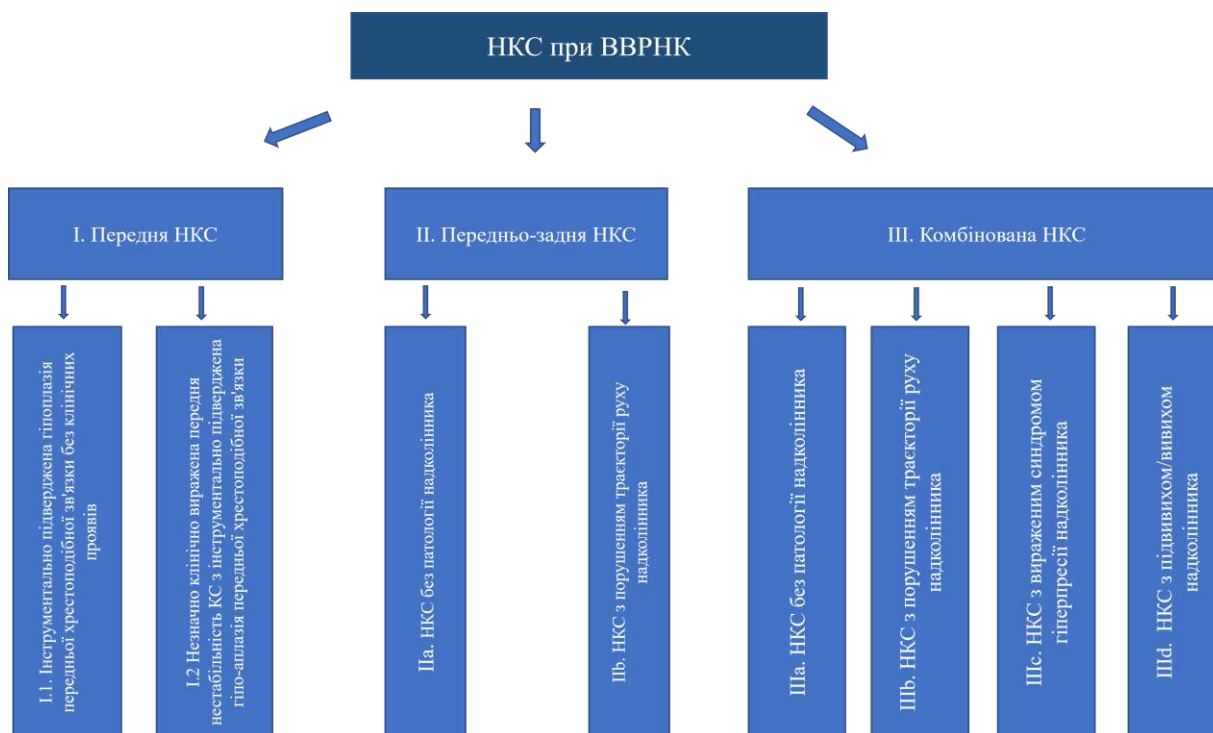
8. Залежно від віку дитини та її готовності використовуємо орбітрек.

9. Не використовуємо вправи з парними навантаженнями на обидві кінцівки, а саме присідання та жими обидвома ногами, бо це призводить до перевантаження здорової кінцівки та її травматизації.

Кількість підходів та частота вправ встановлюється індивідуально залежно від стану пацієнта.

## Додаток Г

## Схема НКС за ВПВРНК та пояснення до неї



Ця схема спростила систематизацію даних завдяки шифруванню в ній плану лікування кожної групи.

Перший рядок, а саме I, II та III дають нам зрозуміти тип нестабільності та обсяг лікування, де I – це консервативне лікування, II – проведення лише суглобової процедури, а III – комбіноване втручання, де крім операцій закладених у буквене шифрування ще потрібно враховувати необхідність оперативних втручань для коригування вісі кінцівки на кшталт геміепіфізидезу чи корекції вісі за допомогою остеотомії та фіксації різними методами на вибір.

Другий рядок, а саме 1 та 2 описують факт виявлення патології схрещених зв'язок, але потрібно врахувати що тип 2 може з віком перейти в тип II a. Буквене шифрування несе наступний зміст: a – SUPER knee, b – для відновлення біомеханіки наколінка до плану втручання додається операція Yamamoto [261], c – комбінація операції Yamamoto та транспозиції горбистості великогомілкової кістки [56, 255] d – використання процедури вправлення наколінка та пластики суглобової капсули за D. Paley [6].

Наприклад пацієнт із групою ІІв буде попередньо запланована оперативне лікування в обсязі - SUPER knee, операція Yamamoto та геміепіфізіодез.

## Додаток Д

### Методика лікування НКС за ВПВРНК

Проаналізувавши ретроспективні дані стосовно НКС за ВПВРНК та після попередніх досліджень, описаних у розділах 2-5 та 8, було розроблено зміни до класичної методики SUPER knee за D. Paley з метою покращення ефективності та результативності оперативного втручання, а саме змінено спосіб проведення та фіксації аутозв'язок, модифіковано хірургічний доступ і внесено зміни до способу формування аутозв'язок (розділ 6). Розроблено програму реабілітаційного лікування з метою покращення результатів лікування дітей з НКС за ВПВРНК (розділ 7).

На основі перерахованого масиву інформації створено наступну методику лікування НКС за ВПВРНК, яку в подальшому отримало 31 дитина з НКС за ВПВРНК, усі пацієнти та їх юридичні представники були ознайомлені з особливостями лікування та внесеними змінами і дали письмову інформовану згоду на проведення лікування.

#### 1. Обстеження

Принципово: всі пацієнти які прибували на лікування вперше, навіть маючи в анамнезі обстеження чи оперативне попереднє лікування повністю наново переобстежено для виключення «упередження» [47].

Усім дітям з ВПВРНК під час первинного огляду проводять клінічні тести на стабільність КС, із фотофіксацією [256, 257] та перевіряють біомеханіку руху наколінка.

Дітям із ВПВРНК незалежно від патології в разі первинному звернення проводять рентгенографію обох кінцівок у 2-х проєкціях та в проєкції тонелю [258], із подальшим розрахунків параметрів МЯСК, вісі кінцівки та наявного вкорочення, або інших патологій та деформацій.

За умов виявлення НКС проводиться анкетування за Pedi-IKDC [257]. Також виконують ЕНМГ м'язів обох нижніх кінцівок.

## **2. Планування оперативного втручання**

- під час використання робочої схеми НКС, попередній план готовий автоматично і потребує незначної корекції залежно від клінічного випадку.

- у разі виявлення НКС у пацієнтів із ВПВРНК (внаслідок CFD), то під час створення плану їх лікування спочатку потрібно провести стабілізацію КС, а потім корекцію деформацій та вкорочень. По-перше, проведення оперативних втручань на стегні та встановлення стрижнів для дистракційних апаратів ушкоджує широку фасцію стегна, яка критично необхідна для стабілізації КС, по-друге, дистракція стегна значно збільшує напруження всіх груп м'язів із явною непропорційністю, що призводить до зміни балансу в активних активаторах КС, які за відсутності пасивних стабілізаторів та може призвести до збільшення ступеня НКС до підвивиху [274].

- за НКС у дітей із ВПВРНК (внаслідок FH) виконання SUPER knee необхідно проводити після реконструкції деформації гомілки та стопи за методикою SUPER ankle [180], бо деформована гомілка та нестабільне положення стопи не дають можливості використовувати пацієнту кінцівку і питання НКС відходить на другий план порівняно з наявним ступенем деформації. Також наявна деформація та нестабільне положення стопи не дає можливості адекватно навчити дитину реабілітаційним вправам та ефективно використати реабілітаційне лікування.

## **3. Передопераційна підготовка**

Проводиться стандартизоване лабораторна передопераційна діагностика (за необхідності та планування оперативного втручання).

Реабілітаційна програма починається до проведення оперативного лікування – проводяться дії фази 0.

Навчання виконувати комплекс стартових вправ: ізометричне напруження квадрицепса стегна; підйом прямої ноги вгору; відведення нижньої кінцівки до  $40^{\circ}$ ; «Ковзанка»; розгинання КС; тильна та подошвенна флексія; кругові рухи стопою. Навчання дитини ходи за допомогою милиць. Підбір і підготовка ортезу. Навчання батьків або опікунів базовим навикам масажу.

#### 4. Оперативне втручання

Для проведення втручання використовується спінальна анестезія з внутрішньовенною седацією.

За 30 хв до проведення хірургічного доступу та через 60 хв від початку оперативного втручання виконується профілактична антибіотикотерапія у відповідному до віку дозуванні.

Оперативне втручання проводиться згідно з методикою SUPER knee з перерахованими модифікаціями та додатковими маніпуляціями для покращення функції КС та кінцівки за клінічної необхідності, таких як операція Yamamoto, транспозиції горбистості великогомілкової кістки, геміепіфізіодез [268, 266], пластики суглобової капсули за D. Paley.

Ураховуючи великий обсяг оперативного втручання в кінці втручання встановлюється дренаж із негативним тиском. Інтраопераційно по завершенню втручання кінцівка фіксується (туторі або гіпсовій лонгеті).

#### 5. Післяопераційне лікування

Проводиться перша фаза реабілітаційного лікування (0-6 день):

- медикаментозна терапія: для зменшення больового синдрому призначали мультимодальну аналгезію (наркотичні анальгетики та НПЗП), із 4-ї доби пацієнти отримували НПЗП (ібупрофен, парацетамол) у відповідних до віку дозах;

- перев'язки післяопераційної рани проводили за необхідності (рясне геморагічне відділяємо на ас-пов'язці) на наступний день, якщо ас-пов'язка суха на 3-тю добу. Контроль дренажної системи, з подальшим видаленням на 3-тю добу.

Протягом перших 5 діб проводиться контроль температури тіла, лабораторні показники крові: рівень гемоглобіну, кількість еритроцитів, гематокрит, лейкоцитарна формула.

За необхідності в разі зміни клінічної картини призначається відповідна медикаментозна терапія. Для кінцівки режим спокою.

До другої фази реабілітаційного лікування(7-14 день): переходимо в разі зменшення больового синдрому, стабілізації соматичного стану та за умов первинних ознаках загоєння рани контроль ефективності медикаментозної терапії та стану п/о рани; розпочинаємо активізацію м'язів з ізометричного напруження квадріцепса стегна та масажу м'язів гомілки.

За умов задовільного стану та відсутності ускладнень пацієнт виписується на амбулаторне лікування.

#### **Амбулаторне лікування:**

Подальше лікування та відновлення відбувається в режимі амбулаторного контролю.

У фазі 3(15-25 день) продовжуємо підтримувати тренування квадріцепса стегна ізометричним напруженням, та починаємо використовувати навички, які дитина отримала під час навчання у фазі 0: підйом прямої ноги вгору до  $35^0$  в заблокованому ортезі або лонгеті; відведення нижньої кінцівки в ортезі; колоподібні рухи стопою та тильну та підшвенну флексію.

Для покращення відновлення додається використання ударно-хвильової терапії та масаж всієї кінцівки, без залучення п/о зони.

Якщо пацієнту в післяопераційному періоді кінцівка фіксувалася гіпсовою лонгетою то проводимо її заміну на ортез із шарнірним механізмом із функцією блокування.

За умов успішності виконання стартових вправ за допомогою тренера розпочинають розробку пасивних рухів у КС. За можливості використовуються механічні апарати ARTROMOT чи KINETEK.

Проводимо вертикалізацію дитини, без навантаження на кінцівку та з заблокованим ортезом.

У разі успішності проведення вказаних вправ переходимо до фази 4 (25-50 день), під час якої продовжуємо ізометричне тренування квадріцепса стегна, відведення нижньої кінцівки в ортезі, колоподібні рухи стопою та тильну та підшвенну флексію. Збільшуємо кут підйому прямої ноги вгору до  $70^0$  в

заблокованому ортезі. Вводимо нові вправи як «ковзанка», розгинання КС сидячи на стільчику.

Продовжуємо проводити релаксуючий масаж оминаючи зону оперативного втручання.

Розпочинаємо поступове осьове навантаження на кінцівку за умови досягнення рівної довжини кінцівок (за необхідності використовуємо ортопедичні вироби для корекції вкорочення).

За умов успішності проведення вказаних вправ переходимо до фази 5 (50 день і далі): дозволяємо навантаження без милиць (для післяопераційних пацієнтів обов'язково в ортезі протягом наступних 30 днів).

Відновлюємо фізіологічну біомеханіку руху, а саме обов'язкова компенсація різної довжини кінцівки, стабілізація надп'яtkово-гомiлкового суглоба за патології (часто зустрічається в разі фібулярній геміmelії) та навчаємо дітей рівній ході.

Активно розроблюємо обсяг рухів у КС, мета досягнути згинання в КС не менше 85°

Проводимо електростимуляцію прямого квадрицепса та використовуємо масажні методики (під час проведення масажу не потрібно чіпати зону наколінка і в жодному випадку не варто рухати ним у сторони).

Для подальшої фізичної підготовки проводиться навчання дитини виконувати вправи на підйом прямої н/кінцівки вперед, відведення в сторону та назад у положенні стоячи (необхідно забезпечити дитині точку опори). Розгинання КС із утриманням в крайній точці з додатковим навантаженням, у подальшому тренування можна проводити на вантажо-блочних тренажерах окремо на кожен кінцівку. Залежно від віку дитини та її готовності використовується орбітрек.

Не можна використовувати вправи з парними навантаженнями на обидві кінцівки, а саме присідання та жими обидвома ногами, бо це призводить до перевантаження здорової кінцівки. Кількість підходів та частота вправ встановлюється індивідуально залежно від стану пацієнта.

## Додаток Е

### Акти впровадження

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»  
(назва закладу в якому проведено впровадження)

Директор \_\_\_\_\_ д. мед. наук Бондаренко С. Є.  
(підпис та ім'я та прізвище керівника закладу)

«24» \_\_\_\_\_ 2025 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:**

Методика обстеження та лікування дітей з нестабільністю колінного суглоба при вроджених повздожніх вадах розвитку нижньої кінцівки

**2. Установа-розробник, її поштова адреса; прізвище, ініціали авторів:**

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків, вул. Григорія Сковороди, 80. Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В.

**3. Джерело інформації:** Стаття «Вивчення відносних деформацій зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок та після їх відновлення (математичне моделювання)» / Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В. — Травма. — 2022. — № 23(5). — С. 12–18.

**4. Найменування установи, яка здійснила впровадження:**

Відділення патології хребта та суглобів дитячого віку ДУ «ІПХС ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України»

**5. Строки впровадження:** з 30.09.2019 по 30.03.2024

**6. Загальна кількість спостережень:** 26 пацієнтів.

**7. Ефективність впровадження:**

Використання методики в загальному, або її окремих елементів (анкетування Pedi-ІKDC, параметри МЯСК, реабілітаційна програма) у медичній практиці дитячих ортопедів травматологів дозволяє своєчасно виявити вроджену патологію колінного суглоба у дітей та своєчасно вибрати відповідну лікувальну тактику.

**8. Зауваження та пропозиції:** Дану методику необхідно довести до використання у показаних випадках у профільних дитячих ортопедо-травматологічних відділеннях.

Відповідальний за впровадження

Зав.відділенням \_\_\_\_\_ канд. мед. наук Баєв В. В.

« 24 » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## Продовження додатка Е

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

КНП «Миколаївська обласна дитяча клінічна лікарня» МОР  
(назва закладу в якому проведено впровадження)

В.о. директора Пліткін О.Ю.  
(підпис та ім'я та прізвище керівника закладу)

«20» 02 2025 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:**

Методика обстеження та лікування дітей з нестабільністю колінного суглоба при вроджених повздожсних вадах розвитку нижньої кінцівки

**2. Установа-розробник, її поштова адреса; прізвище, ініціали авторів:**

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків, вул. Григорія Сковороди, 80. Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В.

**3. Джерело інформації:** Стаття «Вивчення відносних деформацій зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок та після їх відновлення (математичне моделювання)» / Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В. — Травма. — 2022. — № 23(5). — С. 12-18.

**4. Найменування установи, яка здійснила впровадження:**

Ортопедо-травматологічне відділення КНП «Миколаївська обласна дитяча клінічна лікарня» МОР

**5. Строки впровадження:** з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

**6. Загальна кількість спостережень:** 3 пацієнти.

**7. Ефективність впровадження:**

Використання методики в загальному, або її окремих елементів (анкетування Ребі-ІКРС, параметри МЯСК, реабілітаційна програма) у медичній практиці дитячих ортопедів травматологів дозволяє своєчасно виявити вроджену патологію колінного суглоба у дітей та своєчасно вибрати відповідну лікувальну тактику.

**8. Зауваження та пропозиції:** Дану методику необхідно довести до використання у показаних випадках у профільних дитячих ортопедо-травматологічних відділеннях.

Відповідальний за впровадження

Зав.відділенням Шестопапов Є.О.

«20» 02 2025 р.

Продовження додатка Е

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

ТОВ "Медичний центр "Клініка НОВА"

(назва закладу в якому буде здійснено впровадження)

Головний лікар Вакуленко Ж.П.

(підпис та ім'я та прізвище керівника закладу)

«26» лютого 2025 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

## 1. Назва пропозиції для впровадження:

Методика обстеження та лікування дітей з нестабільністю колінного суглоба при вроджених повздожних вадах розвитку нижньої кінцівки

## 2. Установа-розробник, її поштова адреса; прізвище, ініціали авторів:

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків, вул. Григорія Сковороди, 80. Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Яресько О.В.**3. Джерело інформації:** Стаття «Вивчення відносних деформацій зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок та після їх відновлення (математичне моделювання)» / Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Яресько О.В. — Травма. — 2022. — № 23(5). — С. 12–18.

## 4. Найменування установи, яка здійснила впровадження:

ТОВ "Медичний центр "Клініка НОВА"

5. Строки впровадження: з 2023 по 2025 рр

6. Загальна кількість спостережень: 3 пацієнтів.

## 7. Ефективність впровадження:

Методика ефективна при лікуванні нестабільності колінного суглобу

## 8. Зауваження та пропозиції:

Суттєвих зауважень немає. Клініки, у яких планується впровадження, мають бути підготовлені заздалегідь

Відповідальний за впровадження:

Головний лікар Жанна ВАКУЛЕНКО.

«26» лютого 2025 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

КНП «Тернопільська обласна дитяча клінічна лікарня» ТОР  
(назва закладу в якому проведено впровадження)В. о. генерального директора \_\_\_\_\_ к.мед.н. Філюк А.П.  
(підпис та ім'я та прізвище керівника закладу)

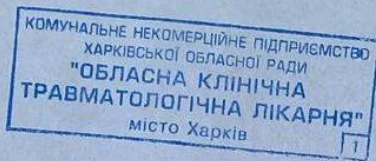
« \_\_\_\_\_ » 2025 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ****1. Назва пропозиції для впровадження:**Методика обстеження та лікування дітей з нестабільністю колінного суглоба при вроджених повздожних вадах розвитку нижньої кінцівки**2. Установа-розробник, її поштова адреса; прізвище, ініціали авторів:**ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків, вул. Григорія Сковороди, 80. Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В.**3. Джерело інформації:** Стаття «Вивчення відносних деформацій зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок та після їх відновлення (математичне моделювання)» / Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В. — Травма. — 2022. — № 23(5). — С. 12–18.**4. Найменування установи, яка здійснила впровадження:**Ортопедо-травматологічне дитяче відділення з травматологічним пунктом КНП «Тернопільська обласна дитяча клінічна лікарня» ТОР**5. Строки впровадження:** з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_**6. Загальна кількість спостережень:** 6 пацієнтів.**7. Ефективність впровадження:**Використання методики в загальному, або її окремих елементів (анкетування Pedi-IKDC, параметри МЯСК, реабілітаційна програма) у медичній практиці дитячих ортопедів травматологів дозволяє своєчасно виявити вроджену патологію колінного суглоба у дітей та своєчасно вибрати відповідну лікувальну тактику.**8. Зауваження та пропозиції:** Дану методику необхідно довести до використання у показаних випадках у профільних дитячих ортопедо-травматологічних відділеннях.

Відповідальний за впровадження

Зав.відділенням \_\_\_\_\_ канд.мед.наук Корицький А. Г.

«12» \_\_\_\_\_ 22 2025 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

КНП ХОР «Обласна клінічна травматологічна лікарня»  
(назва закладу в якому проведено впровадження)

Генеральний директор д.м.н. Гавриков О. Є.  
(підпис та ім'я та прізвище керівника закладу)

14 лютого 2025 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:**

Методика обстеження та лікування дітей з нестабільністю колінного суглоба при вроджених повздожніх вадах розвитку нижньої кінцівки

**2. Установа-розробник, її поштова адреса; прізвище, ініціали авторів:**

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків, вул. Григорія Сковороди, 80. Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В.

**3. Джерело інформації:** Стаття «Вивчення відносних деформацій зв'язкового апарату колінного суглоба при аплазії хрестоподібних зв'язок та після їх відновлення (математичне моделювання)» / Хмизов С.О., Якушкін Є.Ю., Карпінський М.Ю., Ярьсько О.В. — Травма. — 2022. — № 23(5). — С. 12–18.

**4. Найменування установи, яка здійснила впровадження:**

Травматологічне відділення КНП ХОР «Обласна клінічна травматологічна лікарня»

**5. Строки впровадження:** з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

**6. Загальна кількість спостережень:** 2 пацієнти.

**7. Ефективність впровадження:**

Використання методики в загальному, або її окремих елементів (анкетування Pedi-IKDC, параметри МЯСК, реабілітаційна програма) у медичній практиці дитячих ортопедів травматологів дозволяє своєчасно виявити вроджену патологію колінного суглоба у дітей та своєчасно вибрати відповідну лікувальну тактику.

**8. Зауваження та пропозиції:** Дану методику необхідно довести до використання у показаних випадках у профільних дитячих ортопедо-травматологічних відділеннях.

Відповідальний за впровадження

Зав.відділенням д.м.н., проф. Зеленецький І. Б.

«14» лютого 2025 р.



## Додаток Ж

### Список пацієнтів

Список пацієнтів, які пройшли лікування в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка Національної академії медичних наук України» та були включені в дисертаційне дослідження за темою «Лікування нестабільності колінного суглоба в дітей за вроджених повздовжніх вад розвитку нижніх кінцівок».

№	Прізвище, стать, клінічна група	№ історії хв.	№	Прізвище, стать, клінічна група	№ історії хв.
1.	М.ж. А <sub>1</sub>	91648	2.	А.ж. А <sub>1</sub>	67811
3.	Д.ж. А <sub>1</sub>	95177	4.	Є.ч. А <sub>1</sub>	89215
5.	Р.ч. А <sub>1</sub>	75980	6.	С.ж. А <sub>1</sub>	79916
7.	М.ж. А <sub>1</sub>	79311	8.	Ш.ж. А <sub>1</sub>	88200
9.	О.ч. А <sub>1</sub>	91549	10.	К.ч. А <sub>1</sub>	78157
11.	Ж.ж. А <sub>1</sub>	86614	12.	М.ж. А <sub>1</sub>	78037
13.	С.ж. А <sub>1</sub>	76995	14.	М.ч. А <sub>1</sub>	82536
15.	Х.ч. А <sub>1</sub>	89118	16.	Б.ж. А <sub>1</sub>	81576
17.	К.ч. А <sub>1</sub>	64513	18.	К.ж. А <sub>1</sub>	77967
19.	С.ч. А <sub>1</sub>	85538	20.	Б.ч. А <sub>2</sub>	77814
21.	В.ж. А <sub>2</sub>	90782	22.	Ш.ч. А <sub>2</sub>	96038
23.	Ч.ж. А <sub>2</sub>	75546	24.	Б.ч. А <sub>2</sub>	88808
25.	П.ч. А <sub>2</sub>	95085	26.	В.ч. А <sub>2</sub>	85947
27.	К.ж. А <sub>2</sub>	96220	28.	П.ч. А <sub>2</sub>	90845
29.	Д.ж. А <sub>2</sub>	91426	30.	Б-С.ч. А <sub>2</sub>	81155
31.	Б.ж. А <sub>2</sub>	98120	32.	Л.ч. А <sub>2</sub>	81907
33.	Р.ч. А <sub>2</sub>	83864	34.	В.ч. А <sub>2</sub>	96316
35.	Н.ж. А <sub>2</sub>	99050	36.	В.ж. А <sub>2</sub>	87781
37.	О.ч. А <sub>2</sub>	83578	38.	З.ч. А <sub>2</sub>	91376
39.	А.ч. А <sub>2</sub>	100077	40.	Б.ч. А <sub>2</sub>	100115
41.	Л.ч. А <sub>2</sub>	96127	42.	С.ж. А <sub>2</sub>	100621
43.	Т.ж. А <sub>2</sub>	97259	44.	О.ж. А <sub>2</sub>	97918
45.	Ц.ж. А <sub>2</sub>	83995	46.	К.ж.Б	56586
47.	К.ж. Б	88022	48.	К.ч. Б	73758
49.	Д.ж. Б	80335	50.	К.ж. Б	90087
51.	Б.ч. Б	86027	52.	Б.ж. Б	67708
53.	В.ж. Б	75562	54.	Л.ч. Б	77320

## Продовження додатка Ж

№	Прізвище, стать, клінічна група	№ історії хв.	№	Прізвище, стать, клінічна група	№ історії хв.
55.	М.ч. Б	87441	56.	М.ч. Б	86630
57.	М.ч. Б	81228	58.	М.ж. Б	64223
59.	П.ч. Б	92528	60.	С.ж. Б	92619
61.	Т.ж. Б	79286	62.	Т.ч. Б	94537
63.	Ц.ч. Б	85628	64.	Я.ж. Б	78831

Усі матеріали, використані в дослідженні (історії хвороби, амбулаторні карти, рентгенограми), зберігаються в архіві Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України».

Медичний директор



д. мед. н. Лизогуб М.В.

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 22:52:39 31.05.2025

Назва файлу з підписом: Дисертаційна робота (PhD) ЯКУШКІН Є.Ю..pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 7.6 МБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Дисертаційна робота (PhD) ЯКУШКІН Є.Ю..pdf

Розмір файлу без підпису: 8.4 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Якушкін Євгеній Юрійович

П.І.Б.: Якушкін Євгеній Юрійович

Країна: Україна

РНОКПП: 3439509096

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 22:52:33 31.05.2025

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 382367105294AF970400000004E92000340E5E03

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00