

## АНОТАЦІЯ

*Рахман П.М.* Хірургічне лікування мобільної плосковальгусної деформації стоп у хворих на дитячий церебральний параліч дітей (біомеханічне моделювання та клінічні результати). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 14.01.21 «Травматологія та ортопедія» (222 – медицина). – Державна установа «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України».

Мобільна плосковальгусна деформація стопи (МПВДС) займає друге місце серед усіх деформацій стопи у хворих на ДЦП дітей, її виявляють у 64 % хворих із диплегічною чи тетраплегічною формами ДЦП. Питання діагностики та лікування МПВДС у хворих на ДЦП дітей залишаються невирішеними, через те, що вікова динаміка особливостей розвитку та біомеханічні порушення в процесі формування деформацій стоп є недостатньо вивченими. Серед багатьох запропонованих теорій розвитку деформації стоп у дітей із ДЦП, ключове місце посідає нервово-м'язова теорія, згідно з якою м'язовий дисбаланс є головним пусковим фактором розвитку деформації стопи, що в подальшому супроводжується прогресуючими вторинними проявами з боку кісткових структур і суглобів стопи. Важливим елементом патогенезу МПВДС у хворих на ДЦП дітей є нестабільність піднадп'яtkового суглоба, яка розвивається поступово, і є однією з патогенетичних складових подальшого прогресування деформації. Роль піднадп'яtkового суглоба в забезпеченні функціонування стопи описується теорією ротаційної рівноваги К. Kirby, відповідно до якої в піднадп'яtkовому суглобі відбуваються складні рухи (пронація та супінація), а баланс пронаційних і супінаційних моментів визначає положення заднього відділу стопи (нейтральне, у пронації або супінації).

Показано, що одним із перспективних напрямів для отримання нових знань щодо особливостей навантаження елементів стопи у нормі та у

випадках її деформацій, є застосування методу кінцевих елементів (МКЕ) для вивчення напружено-деформованого стану (НДС). Тривимірне моделювання системи «гомілка – стопа» в умовах навантаження такої моделі у доступній літературі практично не висвітлено. Проте для оптимізації вибору хірургічного втручання у випадках плосковальгусної деформації скінчено-елементне моделювання та математичні розрахунки набувають великого наукового та практичного значення.

Для корекції МПВДС використовують різноманітні хірургічні втручання: на м'яких тканинах для відновлення сухожилково-м'язового балансу стопи (ефективність і довгострокові результати цих втручань є незадовільними), на кістках і суглобах стопи — коригувальні остеотомії п'яtkової кістки та кісток середнього відділу стопи, коригувальні або стабілізувальні артродези (втручання мають вікові обмеження, є травматичними, потребують тривалого реабілітаційного лікування та характеризуються високим відсотком рецидивів (до 35 %) у разі виконання у віці молодше 10-12 років). Маємо зауважити, що в теперішній час розроблені та активно впроваджуються в клінічну практику різні варіанти малоінвазивних хірургічних втручань, які спрямовані на обмеження патологічно збільшених пронаційних рухів у піднадп'яtkовому суглобі – артрорез або «calcaneo-stop procedure», що можуть виконуватися у поєднанні з «класичними» операціями або ж виконуватися ізольовано. Для виконання даних операцій запропонована велика кількість варіантів імплантатів, проте дотепер місце зазначених втручань залишається невизначеним у дітей, хворих на ДЦП, відсутні чіткі показання щодо вікових чи клініко-рентгенологічних критеріїв їх призначення. Не проведено біомеханічне порівняння та обґрунтування численних методик артролізу піднадп'яtkового суглоба (АЕПНС) та варіантів імплантатів для лікування МПВДС у дітей, хворих на ДЦП.

Метою роботи стало: розробка алгоритмів лікування мобільної плосковальгусної деформації стоп у хворих на ДЦП дітей шляхом

обґрунтування варіантів її хірургічної корекції на підставі біомеханічного моделювання та клініко-рентгенологічних досліджень структурно-функціональних змін в уражених стопах.

Проведено ретроспективний аналіз даних історій хвороб 34 хворих на ДЦП дітей із МПВДС (56 стоп), яких розділили на дві групи (за віком та видом хірургічного втручання). Вивчено демографічні та клініко-рентгенологічні показники до та після лікування МПВДС. На підставі проведеного дослідження структурно-функціональних особливостей розвитку стоп у разі їх мобільної плосковальгусної деформації у двох вікових групах хворих на ДЦП дітей визначено наступне:

- найбільш характерні скарги, які констатовано у хворих на ДЦП дітей із МПВДС це - порушення ходьби та деформації стоп (зустрічалися у 100% випадків обох груп), больовий синдром - у 51,8%, стомлюваність – у 83,9%; порушення опорності стоп - 89,6% (у 100% пацієнтів групи 2 та у 70 % пацієнтів групи 1), труднощі із вибором взуття відзначали 57,1%, а натоптиші на стопі – у 26,7%.

- у 96,4 % випадків хворих на ДЦП дітей МПВДС супроводжується ригідною еквінусною деформацією стопи;

- у пацієнтів обох груп відзначено збільшення латерального надп'яtkово-1-метатарзального кута (кута Meary) та зменшення кута п'яtkового нахилу, що свідчать про зниження медіального поздовжнього склепіння стопи, а збільшення кута надп'яtkово-човноподібного перекриття стопи (у Групі 2 до  $19^{\circ} \pm 8^{\circ}$ ) – свідчить про наявність патологічної абдукції переднього відділу стопи. Патологічні зміни у стопах дітей групи 2 були більш вираженими у порівнянні з групою 1;

- найбільш частою вторинною деформацією (за класифікацією Miller F.) була ригідна супінаційна деформація переднього відділу стопи, яка зустрічалася у 62,9% дітей другої вікової групи, а мобільна супінація переднього відділу стопи відзначена у 37,1% цієї ж вікової групи. Третинні деформації, як правило, відзначались лише у пацієнтів Групи 2: hallux valgus

– у 25,9%, торсійні деформації кісток гомілки – у 14,8%;

- визначено значний відсоток (66,7 %) рецидивів МПВДС у дітей віком 7-10 років, яким застосовано хірургічні методики, направлені на корекцію м'якотканинного дисбалансу гомілки та стопи;

- виявлено підгрупу дітей, в яких виконання артроерезу піднадп'яtkового суглоба дозволило ефективно утримати корекцію стопи, проте у 80 % із них зареєстровано хронічний больовий синдром, причиною якого, на наш погляд, є конічна форма стандартного імплантата, що не відповідає анатомічній будові sinus tarsi.

Виконано клініко-експериментальне дослідження з метою визначення проєкції осі піднадп'яtkового суглоба на плантарну поверхню стопи у трьох групах дітей віком ( $6 \pm 1$ ) рік: здорові, здорові з МПВДС, хворі на ДЦП із МПВДС. Встановлено наявність значущого медіального відхилення осі піднадп'яtkового суглоба в аксіальній площині у дітей, хворих на ДЦП (середній кут відхилення  $34^\circ \pm 8^\circ$ ), порівняно з аналогічними показниками для пацієнтів із МПВДС (середній кут відхилення  $28^\circ \pm 5^\circ$ ) та здорових дітей (середній кут відхилення  $19^\circ \pm 9^\circ$ ). Отримані результати дозволили дійти висновку про наявність структурно-функціональних порушень стоп у хворих на ДЦП дітей із МПВДС вже у ранньому віці та обґрунтувати в них проведення раннього консервативного лікування для компенсації біомеханічних порушень і профілактики вторинних деформацій стопи.

Проведено біомеханічні дослідження на створених математичних моделях стопи у нормі та за МПВДС із використанням методу скінченних елементів і визначено особливості розподілу навантажень у стопі залежно від різних варіантів хірургічного втручання, які використовують для корекції МПВДС. Показано, що плосковальгусна деформація стопи призводить до підвищення рівня напружень в усіх кісткових елементах стопи, особливо на опорній поверхні п'яtkової кістки та на поверхнях піднадп'яtkового суглоба, а в результаті виконання усіх варіантів хірургічних втручань визначено суттєву нормалізацію напружень в кісткових елементах стоп. Доведено

переваги розподілу напружень у п'ятковій і піднадп'ятковій кістках у разі артроерезу піднадп'яткового суглоба з використанням запропонованого порожнистого двоступеневого конусного імплантата порівняно зі стандартним.

Запропонована триступенева робоча клініко-рентгенологічна класифікація тяжкості плосковальгусної деформації стоп у дітей із ДЦП (легка, середньої тяжкості та важка), яка враховує характер мобільності у піднадп'ятковому суглобі, дані рентгенологічних досліджень, наявність вторинних і третинних деформацій стопи за F. Miller.

Розроблені алгоритми вибору методу хірургічного лікування МПВДС у хворих на ДЦП дітей, що засновані на урахуванні запропонованої робочої класифікації ступенів тяжкості деформації стопи, результатів біомеханічного моделювання, клініко-рентгенологічної, функціональної оцінки стану стопи, і передбачають вибір між м'якотканинними втручаннями і малоінвазивним піднадп'ятковим артроерезом, або коригувальною остеотомією кісток заднього та середнього відділів стопи чи артродезом суглобів заднього відділу стопи у поєднанні з втручаннями на м'яких тканинах (за показаннями). Представлені результати клінічної верифікації запропонованих алгоритмів відповідно до тяжкості плосковальгусної деформації стоп у хворих на ДЦП дітей. Зокрема, проведено апробацію малоінвазивної методики артроерезу піднадп'яткового суглоба для лікування МПВДС у 5 хворих (10 стоп) на ДЦП дітей, із використанням розробленого порожнистого двоступеневого конусного імплантату. Доведено ефективність та безпечність використання методики артроерезу піднадп'яткового суглобу, що дозволила отримати нормалізацію рентгенометричних параметрів у 89,4 % дітей та покращити функціональну мобільність у найближчі терміни після хірургічного втручання.

**Ключові слова:** дитячий церебральний параліч (ДЦП), мобільна плосковальгусна стопа, біомеханічне моделювання, хірургічне лікування мобільної плосковальгусної стопи.



## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. **Корольков, А. И., Рахман, П. М., & Кикош, Г. В.** (2016). Подтаранный артроэрез в лечении плоско-вальгусной деформации стоп: аргументы за и против (обзор литературы). *Ортопедия, травматология и протезирование*, (1), 115–123. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720161115-123>.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літератури, оформленні статті.

2. **Корольков, О. І., Рахман, П. М., Карпінський, М. Ю., Шишка, І. В., & Ярьсько, О. В.** (2017). Дослідження напружено-деформованого стану моделі стопи в разі плоско-вальгусної деформації (повідомлення 1). *Ортопедия, травматология и протезирование*, (4), 80–84. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872017480-84>.

Здобувачеві належить ідея виконання дослідження, ним виконано інформаційний пошук, взято участь в аналізі результатів, оформлено статтю

3. **Корольков, О. І., & Рахман, П. М.** (2017). Результати застосування технології одномоментних багаторівневих втручань у дітей з ДЦП. *Соціальна педіатрія та реабілітологія*, 18(5), 101–106.

Автором взято участь у хірургічному лікуванні хворих, проаналізовано результати лікування.

4. **Korolkov, O. I., & Rakhman, P. M.** (2018). Subtalar arthroereisis in the treatment of flat-foot deformity: the pros and the cons. *Moldavian Journal of pediatric surgery*, 2, 47–55.

Особистий внесок автора полягає у аналізі клінічного матеріалу, виконанні літературного пошуку, оформленні статті.

5. **Корольков, О. І., Рахман, П. М., Карпінський, М. Ю., Шишка, І. В., & Ярьсько, О. В.** (2018). Порівняльна характеристика напружено-деформованого стану моделі стопи до та після лікування плоско-вальгусної деформації з використанням імплантатів для піднадп'яткового артроерезу

(повідомлення друге). *Ортопедия, травматология, протезирование*, (1), 65–72. <https://doi.org/10.15674/0030-59872018165-71>.

Особистий внесок здобувача полягає у участі у створенні моделей плосковальгусної деформації стопи та моделюванні різних видів її лікування із застосуванням імплантатів для артроерезу піднадп'яtkового суглоба

6. Корольков, О. І., **Рахман, П. М.**, Карпінський, М. Ю., Шишка, І. В., & Яресько, О. В. (2018). Напружено-деформований стан моделі плосковальгусної деформації стопи за умов використання імплантатів для піднадп'яtkового артроерезу. *Ортопедия, травматология и протезирование*, (3), 74–79. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872018374-79>

Особистий внесок автора полягає в участі у створенні моделей плосковальгусної деформації стопи та моделюванні різних видів її лікування із застосуванням імплантатів для артроерезу піднадп'яtkового суглоба

7. Корольков, А. И., & **Рахман, П. М.** (2018). Оценка эффективности применения технологии одномоментных многоуровневых хирургических вмешательств у детей с ДЦП. *Травма*, 19(6). 66–75. <http://dx.doi.org/10.22141/1608-1706.6.19.2018.152222>

Особистий внесок автора полягає у аналізі клінічних і рентгенологічних даних дітей, хворих на ДЦП до та після одномоментних багаторівневих хірургічних втручань та участі у лікуванні дітей, хворих на ДЦП

8. Корольков, О. І., & **Рахман, П. М.** (2020). Результати лікування мобільної плосковальгусної деформації стоп у хворих на дитячий церебральний параліч дітей. *Ортопедия, травматология и протезирование*, (2), 80–88. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872020280-88>

Автором взято участь у хірургічному лікуванні плосковальгусної деформації стоп у хворих на ДЦП дітей, проаналізовано результати

9. Корольков, А. И., **Рахман, П. М.**, & Кикош, Г. В. (2017). *Имплантат для стабилизации поднадп'яtkового суглоба при лікуванні плосковальгусної деформації стоп*. Патент України на корисну модель № 113131.

Автором проведено патентно-інформаційний пошук, взято участь у хірургічному лікуванні хворих в яких проводилася клінічна апробація імплантату

10. Rakhman P.M., Korolkov O.I. Results of foot planovalgus deformity surgical treatment in children with cerebral paralyss // Світ медицини та біології. 2020. № 4 (74), с. 130-135 / DOI 10.26724/2079-8334-2020-4-74-130-135

Здобувач взяв участь у хірургічному лікуванні плосковальгусної деформації стоп у хворих на ДЦП дітей, особисто проаналізував отримані результати лікування

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

11. Корольков, А. И., Кикош, Г. В, & Рахман, П. М. (2015). Хирургическое лечение эквино-плоско-вальгусной деформации стоп у детей с ДЦП. *Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю «Актуальні проблеми хірургії стопи»* (15-16 жовтня, pp. 45-46). Київ.

Автором взято участь у хірургічному лікуванні хворих, статистичній обробці отриманих результатів

12. Kykosh, G., Korolkov, O. I., & **Rakhman, P.** (2015). Surgical treatment of flatfoot in children with cerebral palcy (CP). *Abstracts XXV Symposium Sekcii Ortopedii Dzieciecei Polskiego Towarzystwa Ortopedycznego i Traumatologicznego* (21-23 maja, pp. 29). Zakopane.

Автором взято участь у хірургічному лікуванні хворих, аналізі результатів

13. **Рахман, П. М.**, Кикош, Г. В., & Корольков, О. І. (2016). Комплексне лікування деформацій стоп у дітей з ДЦП. *Збірник наукових праць 17 з'їзду ортопедів-травматологів України* (5-7 жовтня, pp. 109–110). Київ.

Автором взято участь у хірургічному лікуванні хворих, статистичній обробці отриманих результатів

14. Корольков, О. І., Карпінський, М. Ю., **Рахман, П. М.**, Шишка, І. В., & Яренько, О. В. (2017). Піднадп'ятковий артроерез у лікуванні

плосковальгусної деформації стоп (кінцево-елементне моделювання) // *Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю* (pp. 38–39). Приморськ.

Здобувачеві належить ідея даного дослідження та проведенні статистичного аналізу отриманих результатів

15. **Rakhman, P., & Korolkov, O.** (2019). Investigation of the stress-strain state of the foot model before and after surgical treatment by different methods. *Abstracts of 38th EPOS Annual Meeting European Paediatric Orthopaedic Society* (3-6 April, pp. 38). Tel-Aviv, Israel.

Автором взято участь у виконанні дослідження, аналізі результатів

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

16. Корольков, А. И., Кикош, Г. В., & **Рахман, П. М.** (2015). *Спосіб комплексної оцінки анатомо-функціональних порушень стоп*. Патент на корисну модель № 100208.

Здобувачеві належить ідея впровадження даного «Способу...» та проведенні статистичного аналізу отриманих результатів

17. Корольков, А. И., Кикош, Г. В., & **Рахман, П. М.** (2016). Спосіб комплексної оцінки анатомо-функціональних порушень стоп. Нововведення. *Інформаційний бюлетень Додаток до «Журналу НАМН України», 41, 168–169.*

Здобувачеві належить ідея даного дослідження та проведенні статистичного аналізу отриманих результатів

## ABSTRACT

*Rakhman P.M.* Surgical treatment of mobile planovalgus deformity of feet in children with cerebral palsy (biomechanical modeling and clinical results). – Qualifying scientific work as a manuscript.

Ph.D. thesis in Medical Science (doctor of philosophy) on specialty 14.01.21 “Traumatology and orthopedics” (222 – medicine). – State Institution “Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology, National Academy of Medical Sciences of Ukraine“.

Mobile planovalgus deformity of foot (MPVDF) ranks second among all foot deformities in children with cerebral palsy, it is found in 64% of patients with diplegic or tetraplegic forms of cerebral palsy. The issues of diagnosing and treating MPVDF in children with cerebral palsy remain unsolved, due to the fact that the age dynamics of developmental features and biomechanical disorders in the process of foot deformities development are insufficiently studied. Among the numerous proposed theories of the foot deformity development in children with cerebral palsy, the key place is occupied by the neuromuscular theory, according to which muscle imbalance is the main trigger for the development of foot deformity, which is further accompanied by progressive secondary manifestations of feet bone structures and joints.

An important element in the MPVDF pathogenesis in children with cerebral palsy is the instability of the subtalar joint, which develops gradually and is one of the pathogenetic components in the further the deformity progression. The role of the subtalar joint in ensuring the foot’s functioning is described by the K. Kirby’s rotational equilibrium theory, according to which complex movements take place in the subtalar joint (pronation and supination), and the balance of pronation and supination moments determines the position of the hind foot (neutral, in pronation or in supination).

It is shown that one of the promising ways for obtaining new knowledge to determine the force changes in the foot’s components in the norm and in cases of its deformity, is the use of the finite elements method (FEM) to study the stress-

strained state (SSS). Three-dimensional modeling of the “shin – foot” system under load conditions of such a model is practically not covered in the available literature. However, to optimize the choice of surgery in cases of planovalgus deformity, finite elements modeling and mathematical calculations acquire great scientific and practical importance.

Various surgical interventions are used to correct MPVDF: on soft tissues to restore tendomuscular balance of the foot (the efficacy and long-term results of these interventions are unsatisfactory), on the bones and joints of the foot – corrective osteotomies of the calcaneus and middle foot bones, corrective or stabilizing arthrodesis (interventions have age restrictions, are traumatic, require long-term rehabilitation treatment and are characterized by a high recurrence rate (up to 35 %) in the case of performance at the age under 10-12 years). It should be noted that currently various options for minimally invasive surgery are developed and actively implemented in clinical practice, which are aimed at limiting pathologically increased pronation movements in the subtalar joint – arthroereisis or “calcaneo-stop procedure”, which can be performed in combination with “classical” operations or performed in isolation. A large number of implant variants have been proposed to perform these operations, but so far the location of these interventions remains uncertain in children with cerebral palsy, there are no clear indications for age or clinical and radiological criteria for their assignment. Biomechanical comparison and substantiation of numerous subtalar joint arthroereisis (STJAE) methods and variants of implants for treating MPVDF in children with cerebral palsy have not been performed.

The purpose of the work was to improve the results of treating mobile planovalgus deformity of feet in children with cerebral palsy by substantiating the options of its surgical correction based on biomechanical modeling, clinical and radiological studies of structural and functional changes in affected feet.

A retrospective analysis of these case histories was performed in 34 patients with cerebral palsy (56 feet) who were divided into two groups (by age and type of surgery). Demographic and clinical-radiological indices before and after MPVDF

treatment were studied. Based on the study of structural and functional features of the feet development in the case of their mobile planovalgus deformity in two age groups of children with cerebral palsy, the following was determined:

- - The most typical complaints observed in children with cerebral palsy with MPVDF are: walking disorders and foot deformities (found in 100 % of cases in both groups), pain syndrome – in 51.8 %, fatigue - in 83.9 %; impaired foot support - 89.6 % (100% of patients in group 2 and 70 % of patients in group 1), difficulties with the choice of shoes were noted by 57.1 %, and footpads – in 26.7 %.

- - in 96.4 % of cases in children with cerebral palsy MPVDF is accompanied by rigid equinus deformity of the foot;

- - in patients of both groups there was an increase in the lateral hucklebone-1-metatarsal angle (Meary angle) and a decrease in the heel angle, indicating a decrease in the medial longitudinal arch of the foot, and an increase in the angle of the calcaneonavicular planar arch (in Group 2 – up to  $19^{\circ} \pm 8^{\circ}$ ) – indicates the presence of pathological abduction of the anterior foot. Pathological changes in the feet of children in group 2 were more pronounced compared to group 1;

- - the most common secondary deformity (according to the Miller F. classification) was rigid supination deformity of the anterior foot, which occurred in 62.9 % of children in age group 2, and mobile supination of the anterior foot was observed in 37.1 % of the same age group. Tertiary deformities, as a rule, were only observed in patients of group 2: hallux valgus – in 25.9 %, torsional deformities of tibial bones – in 14.8 %;

- - a significant percentage (66.7 %) of MPVDF recurrences was revealed in children aged 7-10 years, who underwent surgical techniques aimed at correcting the soft tissue imbalance of tibia and foot;

- - a subgroup of children was identified in whom arthroereisis of the subtalar joint permitted to effectively maintain the correction of the foot, but 80 % of them reported chronic pain, the cause of which, in our opinion, is a conical

shape of the standard implant that does not coincide with the anatomical structure of sinus tarsi.

A clinical and experimental study was performed to determine the projection of the subtalar joint axis on the plantar surface of the foot in three groups of children aged (6±1) years: healthy, healthy with MPVDF, diseased with cerebral palsy and MPVDF. Significant medial deviation of the subtalar joint's axis in the axial plane in children with cerebral palsy (mean angle of deviation being  $34^{\circ} \pm 8^{\circ}$ ), compared to similar indices for patients with MPVDF (mean angle of deviation being  $28^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ) and healthy children (mean angle of deviation being  $19^{\circ} \pm 9^{\circ}$ ). The obtained results permitted to conclude about the presence of structural and functional feet disorders in children with cerebral palsy at an early age and to justify early conservative treatment to compensate biomechanical disorders and to prevent secondary deformities of the foot.

Biomechanical studies using the designed mathematical models of foot in norm and in MPVDF are carried out by means of a finite element method and features of loadings distribution in foot were defined depending on various variants of surgical intervention used for correction of MPDVF. Planovalgus deformity of the foot has been shown to increase stress levels in all bone elements of the foot, especially on the supporting surface of the heel bone and on the surfaces of the subtalar joint, and as a result of performing all surgical intervention variants, significant normalization of stresses in the bone elements of the feet was determined. The advantages of stress distribution in the calcaneal and subtalar bones in the case of subtalar joint arthroereisis using the proposed hollow two-stage conical implant compared to the standard one have been proved.

A three-stage working clinical and radiological classification of the planovalgus deformation severity in children with cerebral palsy (mild, moderate and severe) is proposed, which takes into account the nature of mobility in the subtalar joint, radiological data, the presence of secondary and tertiary deformities of the foot according to F. Miller.

Algorithms for choosing the method of MPVDF surgical treatment in children with cerebral palsy, based on the proposed working classification of the foot deformation severity, the results of biomechanical modeling, clinical and radiological, functional assessment of the foot, and provide a choice between soft tissue intervention and mild invasive subtalar arthroereisis, or corrective osteotomy of the bones in the posterior and the middle foot or arthrodesis of the joints in the posterior foot in combination with soft tissue interventions (according to the indications).

The results of clinical verification of the proposed algorithms according to the severity of planovalgus deformity of feet in children with cerebral palsy are presented. In particular, a minimally invasive technique of the subtalar joint arthroereisis was tested for the treatment of MPVDF in 5 patients (10 feet) with cerebral palsy, using the developed hollow two-stage conical implant.

The efficacy and safety of the technique for the subtalar joint arthroereisis has been proven, which permitted to obtain normalization of X-ray parameters in 89.4 % of children and to improve functional mobility in the nearest future after the surgery.

**Ключові слова:** дитячий церебральний параліч (ДЦП), мобільна плосковальгусна стопа, біомеханічне моделювання, хірургічне лікування мобільної плосковальгусної стопи.

**Key words:** cerebral palsy (CP), mobile planovalgus deformity of foot, biomechanical modeling, surgical treatment of mobile planovalgus deformity of foot.

## APPLICANT'S LIST OF PUBLICATIONS

### *Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Korolkov, A. I., **Rakhman**, P. M., & Kikosh, G. V. (2016). Podtarannyi artroerez v lechenii plosko-valgusnoy deformatsii stop: argumenty za i protiv (obzor literatury). [Subtalar arthroereisis in the treatment of planovalgus deformity of the feet: pros and cons (literature review)]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye*, (1), 115–123. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720161115-123>.

The personal contribution of the applicant was to analyze the literature, the design of the article.

2. Korolkov, O. I., **Rakhman**, P. M., Karpinskyy, M. Yu., Shyshka, I. V., & Yaresko, O. V. (2017). Doslidzhennya napruzhenno-deformovanoho stanu modeli stopy v razi plosko-valhusnoyi deformatsiyi (povidomlennya 1) [Study of the stress-strain state of the foot model in planovalgus deformity (message 1).] *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye*, (4), 80–84. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872017480-84>.

The idea to perform the study belongs to the applicant, he performed an information search, participated in the analysis of the results, issued an article.

3. Korolkov, O. I., & Rakhman, P. M. (2017). Rezultaty zastosuvannya tekhnolohiyi odnomomentnykh bahatorivnevykh vtruchan u ditey z DTSP [The results of applying the one-stage multilevel interventions technology in children with cerebral palsy]. *Sotsialna pediatriya ta rehabilitolohiya*, 18(5), 101–106.

The author took part in the surgical treatment of patients, analyzed the results of treatment.

4. Korolkov, O. I., & **Rakhman**, P. M. (2018). Subtalar arthroereisis in the treatment of flat-foot deformity: the pros and the cons. *Moldavian Journal of pediatric surgery*, 1, 47–55.

The author's personal contribution consists in the analysis of clinical material, performance of literary search, registration of article.

5. Korolkov, O. I., **Rakhman, P. M.**, Karpinskyy, M. Yu., Shyshka, I. V., & Yaresko, O. V. (2018). Porivnyalna kharakterystyka napruzhenno-deformovanoho stanu modeli stopy do ta pislya likuvannya plosko-valhusnoyi deformatsiyi z vykorystanniam implantativ dlya pidnadpyatkovoho artroerezu (povidomlennya druhe) [Comparative characteristics of the foot model's stress-strain condition before and after treatment of planovalgus deformity using implants for subtalar arthroereisis (second report)]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye*, (1), 65–72. <https://doi.org/10.15674/0030-59872018165-71>.

The applicant's personal contribution was to participate in designing the models of planovalgus foot deformity and modeling various types of its treatment using implants for arthroereisis of the subtalar joint.

6. Korolkov, O. I., **Rakhman, P. M.**, Karpinskyy, M. Yu., Shyshka, I. V., & Yaresko, O. V. (2018). Napruzhenno-deformovanny stan modeli plosko-valhusnoyi deformatsiyi stopy za umov vykorystannya implantativ dlya pidnadpyatkovoho artroeryzu [Stress-strain state of the planovalgus foot deformity model under the use of implants for subtalar arthroereisis]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye*, (3), 74–79. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872018374-79>

The author's personal contribution was to participate in designing models of planovalgus foot deformity and modeling different types of its treatment with the use of implants for arthroereisis of the subtalar joint.

7. Korolkov, A. I., & **Rakhman, P. M.** (2018). Otsenka effektivnosti primeneniya tekhnologii odnomomentnykh mnogourovnevnykh khirurgicheskikh vmeshatelstv u detey s DTSP [Efficacy assessment of the of simultaneous multilevel surgical interventions technology in children with cerebral palsy.]. *Travma*, 19(6). 66–75. <http://dx.doi.org/10.22141/1608-1706.6.19.2018.152222>

The author's personal contribution was to analyze the clinical and radiological data of children with cerebral palsy before and after one-stage multilevel surgery and participation in the treatment of children with cerebral palsy.

8. Korolkov, O. I., & **Rakhman, P. M.** (2020). Rezultaty likuvannya mobilnoyi ploskovalhusnoyi deformatsiyi stop u khvorykh na dytyachyy tserebralnyy paralich ditey [The results of treating mobile planovalgus deformity in children with cerebral palsy.]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye*, (2), 80–88. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872020280-88>

The author took part in the surgical treatment of planovalgus deformity in children with cerebral palsy, analyzed the results.

9. Korolkov, A. Y., **Rakhman, P. M.**, & Kykosh, H. V. (2017). Implantat dlya stabilizatsiyi pidnadpyatkovoho suhloba pry likuvannya plosko-valhusnoyi deformatsiyi stop. Patent Ukrayiny na korysnu model No. 113131 [Implant for the subtalar joint stabilization in the treatment of planovalgus feet deformity. Patent of Ukraine for utility model No. 113131.].

The author carried out a patent information search, participated in the surgical treatment of patients who underwent clinical testing of the implant.

10. **Rakhman P.M.**, Korolkov O.I. Results of foot planovalgus deformity surgical treatment in children with cerebral paralyss. *Svit medytsyny ta biolohiyi*. 2020; 4 (74), 130-135 / DOI 10.26724/2079-8334-2020-4-74-130-135

The applicant took part in the surgical treatment of planovalgus feet deformity in children with cerebral palsy, personally analyzed the results of treatment.

***Scientific works that certify evaluation of the thesis results:***

11. Korolkov, A. Y., Kykosh, H. V., & **Rakhman, P. M.** (2015). Khirurgicheskoye lechenye ekvino-plosko-valgusnoy deformatsii stop u detey s DTSP [Surgical treatment of equino-planovalgus feet deformity in children with cerebral palsy.]. *Materialy naukovo-praktychnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu «Aktualni problemy khirurhiyi stopy»* (15-16 zhovtnya, 45-46). Kyiv.

The author took part in surgical treatment of patients, statistical processing of the obtained results.

12. Kykosh, G., Korolkov, O. I., & **Rakhman, P.** (2015). Surgical treatment of flatfoot in children with cerebral palcy (CP). *Abstracts XXV Symposium Sekcii*

*Ortopedii Dzieciecei Polskiego Towarzystwa Ortopedycznego i Traumatologicznego* (21-23 maja, pp. 29). Zakopane.

The author took part in surgical treatment of patients, analysis of the results.

13. **Rakhman, P. M.**, Kykosh, H. V., & Korolkov, O. I. (2016). Kompleksne likuvannya deformatsiy stop u ditey z DTSP [Comprehensive treatment of foot deformities in children with cerebral palsy]. *Zbirnyk naukovykh prats 17 zyzdu ortopediv-travmatolohiv Ukrayiny* (5-7 zhovtnya, pp. 109–110). Kyiv.

The author took part in surgical treatment of patients, statistical processing of the obtained results.

14. Korolkov, OI, Karpinsky, M. Yu., **Rakhman, PM**, Shyshka, IV, & Yaresko, OV (2017). Pidnadpyatkovyy artroerez u likuvanni ploskovalhusnoyi deformatsiyi stop (kintsevo-elementne modelyuvannya) [Subtalar arthroereisis in the treatment of planovalgus feet deformity (finite element modeling)]. *Materialy naukovo-praktychnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu* (38–39). Prymorsk.

The idea of this study and statistical analysis of the results belong to the applicant.

15. **Rakhman, P.**, & Korolkov, O. (2019). Investigation of the stress-strain state of the foot model before and after surgical treatment by different methods. *Abstracts of 38th EPOS Annual Meeting European Paediatric Orthopaedic Society* (3-6 April, pp. 38). Tel-Aviv, Israel.

The author participated in the study, analysis of results.

***Scientific works additionally reflecting the thesis scientific results:***

16. Korolkov, A. Y., Kykosh, H. V., & **Rakhman, P. M.** (2015). *Sposib kompleksnoyi otsinky anatomo-funktsional'nykh porushen' stop*. Patent na korysnu model' № 100208 [Method for comprehensive assessment of anatomical and functional feet disorders. Utility model patent No. 100208].

The idea of implementing this “Method” and performing of the statistical analysis results belong to the applicant.

17. Korolkov, A.I., Kykosh, G.V., & **Rahman, P.M.** (2016). *Sposib kompleksnoyi otsinky anatomo-funktsionalnykh porushen stop*. Novovvedennya. [A method of

comprehensive assessment of anatomical and functional disorders of the feet. Innovation]. *Informatsiynyy byuletyn Dodatok do "Zhurnalu NAMN Ukrayiny"*, 41, 168–169.

The idea of this study and statistical analysis of the results belong to the applicant.