

УДК 616.717.5/6-001.5-053.2-089.2-74:615.465
DOI: 10.24061/1727-0847.24.2.2025.24

О. Ф. Марчук, П. Є. Ковальчук

Кафедра травматології, ортопедії та нейрохірургії (зав. – доц. П. Є. Ковальчук) закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету МОЗ України, м. Чернівці

ОСОБЛИВОСТІ ТА АНАЛІЗ МАЛОІНВАЗИВНОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ ЕЛАСТИЧНИМИ ТИТАНОВИМИ СТРИЖНЯМИ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК ПЕРЕДПЛІЧЧЯ У ДІТЕЙ

Резюме. У статті наведений аналіз лікування 365 дітей з діафізарними переломами кісток передпліччя. Особливості лікування, віддалені результати та клініко-рентгенологічне обґрунтування проведено на основі дослідження історій хвороби дітей, які лікувались з 2022 по 2024 роки у відділенні травматології дитячого віку лікарні швидкої медичної допомоги міста Чернівці. Метою роботи було оцінити результати та провести клініко-рентгенологічне обґрунтування лікування складних переломів кісток передпліччя у дітей шляхом остеосинтезу уламків з використанням еластичних титанових стрижнів (Titanium Elastic Nails – TEN) для забезпечення надійної фіксації, швидкого відновлення функцій кінцівки та мінімізації ризику ускладнень. Виділено три клінічні групи. До першої клінічної групи увійшли 185 дітей, що лікувались консервативними методами, до другої групи увійшло 102 дитини, яким проводився остеосинтез еластичними титановими стрижнями. До третьої групи увійшло 78 дітей з іншими видами остеосинтезу (накістковий, репозиційний, позавогнищевий). Основним показанням до даного функціонально-стабільного остеосинтезу стала інтраопераційна нестабільність перелому після проведення первинної репозиції, тобто неможливість досягнути стабільного задовільного положення уламків тільки за рахунок зовнішньої іммобілізації. Малоінвазивність методу в сукупності з функціонально-стабільним остеосинтезом дозволило використовувати метод при нестабільних переломах кісток передпліччя у групі дітей з факторами ризику за порушенням остеорепарації (старший вік, діафізарна локалізація, супутні фактори ризику). Метод лікування переломів передпліччя у дітей за допомогою TEN є одним із найбільш ефективних та безпечних у сучасній дитячій ортопедії. Він дозволяє забезпечити стабільну фіксацію перелому, швидке загоєння і повернення до нормального життя. Завдяки мінімальній травматизації цей метод значно підвищує якість життя пацієнтів і скорочує терміни лікування.

Ключові слова: перелом, передпліччя, діафіз, функціонально-стабільний остеосинтез, титанові еластичні стрижні.

Переломи кісток передпліччя найбільш розповсюджені в дитячій травматології та за частотою виникнення посідають лідируючі позиції серед усіх ушкоджень пацієнтів дитячого віку [1-3]. Найбільш популярною методикою лікування дітей зі стабільними та незначно зміщеними переломами кісток передпліччя є консервативна [4, 5]. При стабільних переломах залишені допустимі зміщення уламків в процесі росту нівелюються за рахунок коригуючого потенціалу скелета дитини, що росте. Діафізарні переломи обох кісток передпліччя з повним зміщенням уламків мають характер нестабільних, з більшою вірогідністю вторинного зміщення при консервативному лікуванні. Дані типи переломів передпліччя потребують виконання хірургічних втручань, таких як остеосинтез пластинами, фіксація спицями чи остеосинтез

TEN. При відкритих переломах можливе використання апаратів зовнішньої фіксації. Щодо вибору методики хірургічної стабілізації переломів передпліччя у дітей в спеціальній літературі спостерігаються розбіжності [6]. Однак ще в 2005 році Р. Р. Smittenbeher відмічає збільшення застосування інтрамедулярних стрижнів при діафізарних переломах кісток передпліччя з 1,8% до 22% упродовж всіх 10 років, останні публікації вітчизняних та закордонних авторів вказують на все більш частіше застосування інтрамедулярного металоостеосинтезу з використанням TEN для лікування дітей з нестабільними характерами переломів [2-4, 7-17]. Методика остеосинтезу еластичними титановими стрижнями, засновниками якої є Jean Prevot і Jean-Paul Metaizeau, знайшла широке застосування з початку 2000 років. З того часу методика остеосинтезу

зу набула свої показання до застосування, широко використовується в клінічній практиці у всьому світі, однак деякі питання є дискусійними та потребують аналізу та обґрунтування.

Мета дослідження: на основі ретроспективного аналізу історій хвороби оцінити результати та провести клініко-рентгенологічне обґрунтування лікування дітей з переломами діяфізу кісток передпліччя шляхом остеосинтезу еластичними титановими стрижнями.

Матеріал і методи. Це дослідження є ретроспективним аналізом лікування 365 пацієнтів відділення дитячої травматології ОКУ «Лікарня швидкої медичної допомоги» міста Чернівці, що знаходились на стаціонарному лікуванні з 2022 по 2024 рр. Досліджувались пацієнти з діафізарними переломами кісток передпліччя, з виключенням переломів дистального та проксимального метаепіфізів кісток передпліччя, стабільні переломи по типу зеленої гілки та підокісні переломи.

Згідно з встановленими критеріями у дослідження було відібрано та проаналізовано 365 історій хвороби, з яких 102 оперовані за методикою TEN, де середній вік пацієнтів становив $11,0 \pm 2,2$ років. Найбільша кількість хворих припадала на середній вік 11-13 років, що становило 57% від всіх прооперованих. Всім пацієнтам надавалась з моменту поступлення в стаціонар ортопедо-травматологічна допомога згідно протоколу надання медичної допомоги дітям, відповідно до отриманої травми.

Виділено три клінічні групи пацієнтів з попереднім діагнозом перелом кісток передпліччя. До першої клінічної групи увійшло 185 дітей, що лікувались консервативними методами. До другої клінічної групи увійшло 102 дитини, яким проводився остеосинтез еластичними титановими стрижнями. До третьої групи увійшло 78 дітей з іншими видами остеосинтезу (накістковий, репозиційний, позавогнищевий) (рисунк).

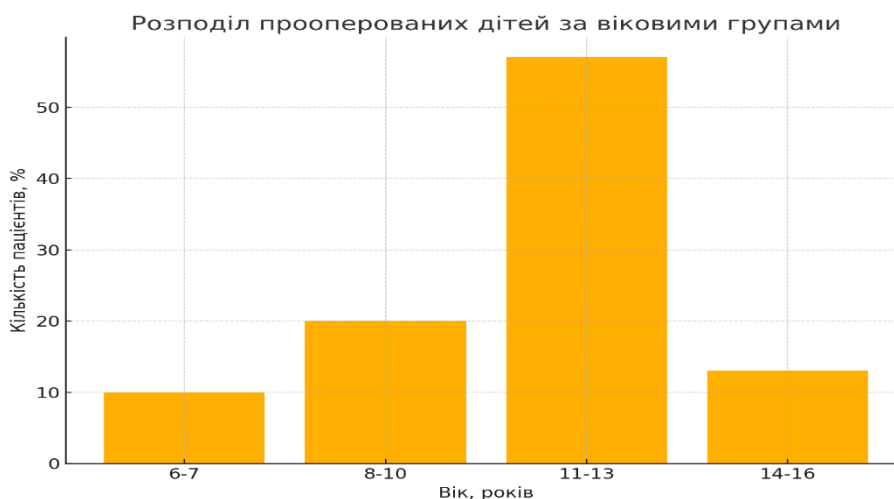


Рисунок. Розподіл прооперованих дітей за віковими групами

Певні труднощі при лікуванні переломів передпліччя у дітей виникали при їх локалізації в ділянці діяфізу. При таких переломах кісткові фрагменти зазвичай зміщуються по ширині та під кутом, що значно затрудняє процес їх репозиції та фіксації враховуючи малий діаметр кісток. Єдиної думки по відношенню до лікувальної тактики пацієнтів різних вікових груп та вибору тактик лікування немає, тому що потрібно враховувати анатомічні особливості та потенціал росту та розвитку передпліччя у дітей різних вікових груп. Консервативний метод лікування діяфізарних переломів кісток передпліччя у дітей на сьогоднішній день є основним. Прогноз результатів лікування визначається віком пацієнта, характером перелому, якістю виконання репозиції та накладання гіпсової пов'язки, терміном фіксації та адекватною реабілітацією. Необхідно зазначити, що у дитячій

травматології широко використовується поняття допустимого зміщення, з виключенням ротаційного. В процесі росту дитини проходить спонтанне ремодельовання на рівні кісткової мозолі зі швидкістю приблизно до 10 градусів в рік. Однак дана властивість зростаючого організму дитини має свої межі, що визначається величиною зміщення та віком пацієнта, тому ці показники для консервативного лікування мають свої обмеження, а частота несприятливих випадків та ускладнень при консервативному методі значно підвищується у дітей старше 10 років. До переваг даного методу можна віднести відсутність ризику оперативного втручання. Однак консервативний метод має свої недоліки: велика вірогідність вторинного зміщення кісткових уламків, обмеження використання при відкритих переломах, іммобілізація суміжних суглобів та розвиток контр-

актур суміжних суглобів, незручність самої гіпсової пов'язки та можливість її руйнування, необхідність в реабілітації після її зняття. Оперативні методи лікування діафізарних переломів у дітей не були основними, і як правило, ставали актуальними у випадках неефективної закритої ручної репозиції, виникнення вторинних зміщень та неправильно зростаючих переломах, а також у випадках рефрактур. Існує думка про первинні показання до оперативного лікування при відкритих ушкодженнях, нестабільних переломах, у випадках політравми, у дітей старше 10 років. На нашу думку, у певної групи пацієнтів при консервативному лікуванні відмічається ризик порушення консолидації переломів, що пов'язані з віком пацієнта (старша вікова група), локалізація перелому (діафізарні). Все це призводить до необхідності подовженої іммобілізації, ризику розвитку контрактур суміжних суглобів, чи розвитку таких безпечних ускладнень як незрощення перелому. У зв'язку з вище перерахованим, обґрунтовано використовувати функціонально-стабільний остеосинтез у таких пацієнтів, що дозволяє забезпечити ранню мобілізацію ушкодженого сегмента та уникнути формування контрактур. Використання остеосинтезу TEN дозволяє уникнути тривалої зовнішньої іммобілізації та одночасно забезпечить односторонню стабільність сегмента впродовж всього періоду консолидації незалежно від її термінів. Даний вид остеосинтезу використовували у пацієнтів з діафізарними переломами кісток передпліччя з повним зміщенням уламків по довжині та ширині, з вираженим кутовим зміщенням та повним розривом окістя, з остаточно недопустимими зміщеннями після закритої ручної репозиції, а також вторинним зміщенням уламків. Методика малоінвазивного остеосинтезу TEN використовувалась у 82 випадках переломів обох кісток передпліччя, стрижні встановлювались як і в ліктьовій, так й променевої кістці. У 14 дітей 1 стрижень встановлювали при ізольованому переломі променевої кістки, у 6 випадках – при переломах ліктьової кістки з поєднаним вивихом головки променевої кістки (ушкодження Монтеджа). Звичайно існує ризик ушкодження чутливої гілки променевого нерва та сухожилка довгого м'язорозгинача великого пальця при проведенні стрижня в променеву кістку. Однак обережне виділення кістки, без грубого пошкодження тканин дозволяє уникнути даного ускладнення. Гіпсову іммобілізацію ушкодженої кінцівки проводили на 10-14 добу до зникнення больового синдрому, при цьому іммобілізація здійснювалась без залучення ліктьового суглоба. Гнійно-запальних ускладнень, парезів чутливої гілки променевого нерва чи ушкоджень сухожилково-зв'язкового апарату ми не спостерігали.

У 14 пацієнтів відмічались явища сповільненої консолидації переломів на термінах 3-5 місяців від моменту операції, однак просте подовження термінів до моменту видалення до 12 місяців дозволило досягнути повної органотипової перебудови. Спеціального лікування дана група пацієнтів не потребувала. Розмір металофіксатора, а точніше його діаметр, визначали за відповідністю до ширини кістково-мозкового каналу, орієнтуючись на те, щоб він відповідав 60-70% від діаметра кістково-мозкового каналу в його самому вузькому місці. Використовували стрижні від 2,0 до 4,0 мм. Важливою особливістю даного остеосинтезу є його відносна еластична стабільність, яку досягали виконанням триточкової інтрамедулярної фіксації. Для більшої стабільності в ділянці перелому стрижень перед веденням вигинали у вигляді дуги, так щоб при знаходженні в кістково-мозковому каналі кістки його верхівка знаходилась в ділянці перелому з врахуванням фізіологічної кривизни як променевої, так й ліктьової кісток. Задовільне стояння фрагментів кісток передпліччя, а також достатню стабільність остеосинтезу підтверджували за допомогою електронно-оптичного перетворювача (ЕОП). Правильний підбір розмірів стрижнів по відношенню до ширини кістково-мозкового каналу дозволяв відмовлятися від гіпсової іммобілізації оперованої кінцівки. Але все ж таки, ми використовували зовнішню іммобілізацію у вигляді гіпсової лонгети, що було зумовлено в наступному. Остеосинтез еластичними титановими стрижнями є остеосинтезом з відносною стабільністю чи еластичною фіксацією. Це означає, що в ділянці перелому зберігається мікрорухливість уламків. Зрощення перелому при остеосинтезі з відносною стабільністю проходить за рахунок формування кісткового мозоля. Гіпсова лонгета знижує мікрорухливість уламків та попереджує формування надлишкової параосального кісткового мозоля. Також гіпсова лонгета в ранньому післяопераційному періоді знижує больовий синдром та зменшує застосування ненаркотичних анальгетиків. При цьому, стабільний остеосинтез еластичними титановими стрижнями обох кісток передпліччя дозволив скоротити час гіпсової іммобілізації, що становило у наших пацієнтів від 2-х до 4-х тижнів, це дозволило на більш ранніх термінах приступити до відновлювального лікування. Якщо закрита репозиція була невдалою, черезшкірно вводили спицю Кіршнера діаметром 1,5-1,8 мм поряд з місцем перелому для репозиції кісткових уламків за допомогою так званого «джойстика», що в більшості випадків дозволило не переходити на відкритий остеосинтез. За неможливістю закритої репозиції, за рахунок вираженої інтерпозиції м'якими тканинами інтрамеду-

лярний стрижень вводили до ділянки перелому, після чого відкрито усували інтерпозиції з розрізом 3,0-4,0 см, після чого синтезували перелом вводючи стрижень в проксимальний фрагмент кістки. Всі етапи операції обов'язково контролювали за допомогою ЕОП. Під час аналізу лікування ми орієнтувалися на наступні клінічні критерії: скарги пацієнта, зовнішній вигляд оперованої кінцівки, з оцінкою периферійного кровообігу та чутливості, наявність чи відсутність гіпотрофії м'язів, об'єм активних рухів в променевому та ліктьовому суглобах, пронація-супінація передпліччя, наявність ускладнень. Рентгенологічно аналізували етапи формування рентген-контрастного мозоля та положення кісткових фрагментів та стрижнів. Основними перевагами остеосинтезу TEN порівняно з іншими методами була рання іммобілізація передпліччя та менша інвазивність порівняно з остеосинтезом пластинами, еластично стабільний інтрамедулярний стрижень за рекомендацією себе як сучасний засіб лікування дітей з переломами кісток передпліччя за наявністю показань до хірургічної стабілізації. У середньому, вже через 4 тижні після втручання спостерігалось достатнє формування кісткового мозоля, що було підтверджено клінічно та рентгенологічно. За своїми характеристиками він не поступався процесам зрощення, які спостерігались при консервативному лікуванні, а в деяких випадках – перевершував їх за термінами і стабільністю. Кількість післяопераційних ускладнень незначні. Із загальної кількості оперованих пацієнтів 102 у 12 (7,8%) відзначено тимчасові ускладнення, які не потребували значних медичних втручань. У 6 дітей виникло подразнення шкіри в ділянці ліктьової кістки внаслідок виступання стрижня, ще у 6 – поверхнева інфекція шкіри в ділянці введення стрижня в промєневу кістку. Один випадок потребував передчасного видалення ліктьового стрижня через його міграцію. Серйозних ускладнень, які могли б призвести до функціональних порушень, таких як кутова або ротаційна деформація, зупинка росту, утворення синостоzu, значне порушення рухливості в ліктьовому суглобі або вкорочення кінцівки, виявлено не було. Всі виявлені ускладнення мали зворотній характер, не впливали на терміни або результат лікування та не потребували повторних хірургічних втручань.

Найкращі результати були відзначені у дітей віком 6-13 років, де співвідношення між розміром кістково-мозкового каналу, анатомічними особливостями ділянки росту та характером травми виявилось найбільш сприятливим для застосування даного методу.

Більшість пацієнтів вже на 10-14 добу після операції починали виконувати активні рухи в сугло-

бах, без скарг на біль або обмеження. У 90% випадків досягалося повне функціональне відновлення у терміни від 4 до 6 тижнів. Значний внесок у такий результат мала можливість раннє навантаження кінцівки та скорочення термінів іммобілізації або навіть її відсутність післяопераційно. У жодному випадку не було виявлено значущих деформацій, що впливали б на функцію передпліччя. Всі пацієнти з ускладненнями були виписані з повним відновленням рухів та симетричною функціональністю обох верхніх кінцівок. Кутові, ротаційні деформації, синостоzu, істотна різниця довжини або порушення осі – не виявлені. Крім того, відзначено, що метод добре переносився пацієнтами і не супроводжувався психологічним дискомфортом, характерним, наприклад, для носіння апаратів зовнішньої фіксації. Батьки високо оцінили короткий післяопераційний період, відсутність помітних рубців та швидке повернення дитини до звичного способу життя.

Результати дослідження та їх обговорення.

У дослідження було включено 365 дітей з діафізарними та метадіфізарними переломами кісток передпліччя, які впродовж останніх трьох років перебували на стаціонарному лікуванні в ортопедо-травматологічному відділенні для дітей ЛШМД, з яких 102 дітям був проведений остеосинтез TEN. Вік пацієнтів становив від 6 до 16 років. Середній вік – $11,0 \pm 2,2$ років. За статевим розподілом: 67 (65,7%) – хлопчики, 35 (34,3%) – дівчатка. Усі пацієнти з моменту поступлення отримували повноцінну ортопедо-травматологічну допомогу відповідно до чинного протоколу МОЗ України. Усі переломи були класифіковані як нестабільні, зі зміщенням фрагментів. Показаннями до остеосинтезу у всіх випадках були: неефективність закритої репозиції, вторинне зміщення після гіпсової іммобілізації, повторні переломи (рефрактури), поєднана травма (2 випадки). Усім пацієнтам проведено остеосинтез еластичними титановими стрижнями (Titanium Elastic Nails – TEN). Вибір цього методу обґрунтований його здатністю забезпечити стабільну фіксацію при мінімальній травматизації м'яких тканин, збереженні росткових ділянок та можливістю ранньої активізації. У 69 пацієнтів (67,65%) виконано закритий остеосинтез обох кісток передпліччя. У 16 випадках (15,69%) – лише променевої, у 2 (1,96%) – лише ліктьової кістки. У 9 пацієнтів застосовано комбіновану техніку (відкрито-закриту), з яких 3 потребували додаткової ревізії через інтерпозицію м'яких тканин.

У більшості випадків застосовувались стрижні діаметром від 2,0 до 4,0 мм залежно від віку дитини та ширини кістково-мозкового каналу. Хірургічний доступ – за стандартною методикою через прокси-

мальний метафіз променевої та дистальний метафіз ліктьової кістки. Середня тривалість операції становила 45 ± 12 хв. У 56 випадках вдалось досягти стабільної фіксації без додаткової гіпсової іммобілізації. Післяопераційний період у більшості випадків проходив без ускладнень. Усім пацієнтам з перших днів проводилась комплексна реабілітація, включаючи ранню активацію, ЛФК, контроль больового синдрому, спостереження за станом післяопераційної рани. Раннє відновлення функціональної активності стало можливим завдяки стабільності фіксації та малоінвазивності втручання.

Згідно з динамічним спостереженням у терміни 1, 3 та 6 місяців після операції, у більшості дітей було зафіксовано повне функціональне відновлення передпліччя, що враховувало амплітуду ротаційних та згинально-розгинальних рухів у ліктьовому та променево-зап'ястковому суглобах, наявність деформацій та скарг. Загальна частота ускладнень становила 13,2% (14 випадків). Всі вони були легкого ступеня та не вимагали повторного оперативного втручання (за винятком 1 випадку). Серйозних ускладнень, таких як кутові або ротаційні деформації, вкорочення кінцівки, порушення росту, контрактури або анкілози – не зареєстровано. Це свідчить про безпеку та надійність методики при дотриманні протоколу виконання операції та післяопераційного догляду.

Порівняно з іншими методами хірургічного лікування переломів кісток передпліччя у дітей (остеосинтез пластинами, спицями Кіршнера, зовнішня фіксація), еластичні титанові стрижні продемонстрували низку беззаперечних переваг: мінімальна травматизація м'яких тканин; збереження ділянки росту; відсутність потреби в широкому доступі; стабільна фіксація без гіпсової іммобілізації; швидке відновлення активності; задовільний косметичний результат; простота техніки при достатньому рівні підготовки хірурга. Остеосинтез пластинами, хоча й забезпечує надійну фіксацію, є більш інвазивним і потребує подальшого зняття конструкцій, що у дитячій практиці є суттєвим мінусом. Фіксація спицями супроводжується потребою у зовнішній іммобілізації та вищим ризиком нестабільності, особливо при діафізарних переломах. Апарат зовнішньої фіксації виправданий лише при відкритих, інфікованих або комбінованих ушкодженнях. Результати проведеного дослідження дозволяють стверджувати, що методика малоінвазивного остеосинтезу еластичними титановими стрижнями є сучасним і ефективним підходом до лікування переломів передпліччя у дітей.

Стабільні результати, низький рівень ускладнень, швидке функціональне відновлення та міні-

мальна травматичність, свідчать про доцільність більш широкого впровадження цього методу в щоденну практику дитячих ортопедо-травматологічних відділень. Особливо обґрунтованим є застосування методу у віці від 6 до 14 років при діафізарних та метадіафізарних переломах обох кісток передпліччя. Отже, отримані клінічні дані підтверджують, що інтрамедулярна еластична стабілізація переломів дозволяє не лише відновити анатомічну цілісність, а й забезпечити високу якість життя пацієнтів у найближчому та віддаленому післяопераційному періоді. Аналіз віддалених результатів лікування пацієнтів, яким було проведено остеосинтез кісток передпліччя з використанням еластичних титанових стрижнів, має вирішальне значення для оцінки довготривалої ефективності методу. У дітей, з огляду на ріст та розвиток опорно-рухового апарату, особливо важливо не тільки досягти зрощення кісткових уламків, але й забезпечити анатомічну та функціональну повноцінність кінцівки в довгостроковій перспективі. Спостереження за 102 пацієнтами, яким було проведено малоінвазивний інтрамедулярний остеосинтез еластичними титановими стрижнями, здійснювалось у терміни 3, 6, 12 та 18 місяців після оперативного втручання. Моніторинг включав клінічну оцінку, аналіз рентгенографічних даних, функціональне тестування, психологічне анкетування пацієнтів та опитування батьків щодо якості життя дітей.

Функціональна оцінка виконувалась за допомогою вимірювання об'єму рухів у ліктьовому та променево-зап'ястковому суглобах, а також ротаційних рухів передпліччя. У 97% пацієнтів було досягнуто повного або майже повного (до $5-10^\circ$ відхилення) відновлення рухливості кінцівки вже на 6 місяці після лікування. Через 12 місяців повне відновлення було зафіксовано у 100% дітей. Деяке тимчасове зниження об'єму рухів у ранньому післяопераційному періоді спостерігалось у пацієнтів із супутніми м'язовими контрактурами або незначними залишковими деформаціями, проте у подальшому функція повністю відновились. Рентгенологічна оцінка демонструвала задовільні результати у більшості випадків. Повноцінний кістковий мозоль формувался у середньому через 3-4 тижні після операції. Усі фіксатори були видалені у терміни 8-14 місяців без ускладнень. Ознак патологічного ремоделювання або асиметрії росту не виявлено. У декількох дітей проводився контроль росту передпліччя через 18-24 місяці після втручання, відхилень не зареєстровано. Видалення металофіксаторів виконували в основному на термінах від 6 до 14 місяців в умовах стаціонару під загальним знечуленням (таблиця).

Терміни видалення металофіксаторів

Термін видалення металофіксаторів (міс.)	Кількість пацієнтів	%
5	2	2.04
6	16	16.33
7	16	16.33
8	2	2.04
9	16	16.33
10	16	16.33
11	13	13.27
12	12	12.24
13	4	4.08
14	1	1.02
15	0	0.00

Середні терміни видалення склали 7,9 місяців.

У всіх прооперованих пацієнтів стан уламків після операції та зрощення переломів спостерігалось з деформацією менше 10%.

В основному 98% у всіх пацієнтів на терміні 8 тижнів після операції спостерігали повне відновлення амплітуди згинання та розгинання оперованої кінцівки в ліктьовому та променево-суглобах. Без залежності від типу перелому та виду зміщень кісткових уламків, при цьому пронація і супінація страждала більше 25% від нормальної амплітуди рухів у 52% хворих, що відповідало задовільному результату. Даний дефіцит рухів був повністю відновлений до моменту видалення металофіксаторів і пацієнти перейшли в групу з відмінними результатами лікування. Повне відновлення амплітуди рухів в суміжних суглобах можливе при відновленні анатомічної кривизни ліктьової та променевої кісток після остеосинтезу еластичними титановими стрижнями, що спостерігалось рентгенологічно у всіх прооперованих пацієнтів. Ускладнення, які виявляли в наших пацієнтів не носили незворотній характер і були в малій кількості випадків (8,8%). Видалення еластичних титанових фіксаторів є завершальним етапом малоінвазивного остеосинтезу у дітей. Процедура потребує зваженого підходу до вибору часу, методики та виду знеболення, враховуючи як анатомо-фізіологічні особливості пацієнта, так і психоемо-

ційний стан дитини, але не є травматичною, займає мало часу та мінімізує косметичні дефекти шкіри.

Висновки. 1. Остеосинтез нестабільних складних діафізарних переломів кісток передпліччя у дітей за допомогою еластичних титанових стрижнів доказує свою безпечність та надійність при лікуванні в умовах спеціалізованого відділення, що має навчений штат та необхідний набір обладнання, інструментів та витратних матеріалів). 2. Частота ускладнень низька і у більшості випадків можна досягти абсолютно повного відновлення функції ушкодженої кінцівки. 3. Видалення імплантів на терміні 6-8 місяців при рентгенологічно підтвердженій картині повного зрощення переломів є доцільним. 4. Методика остеосинтезу еластичними титановими стрижнями при діафізарних переломах кісток передпліччя у дітей дозволяє досягнути задовільної стабільності ушкодження та ранній функціональності кінцівки, що значно покращує строки госпіталізації та покращує якість життя в постопераційному періоді.

Перспективи подальших досліджень. Дослідити та розширити показання до первинного остеосинтезу еластичними титановими стрижнями як складних нестабільних так і інших діафізарних переломів кісток передпліччя у дітей, що знаходяться у групі ризику по репаративним процесам відповідно до зниження рівня вітаміну D (рівня 25 «ОН»D крові).

Список використаної літератури

1. Ставицький ОБ, Пастернак ДВ, Карпушкін ОВ, Лижин ОВ, Ямковий ІА. Наш досвід застосування блокуючого інтрамедулярного остеосинтезу при лікуванні хворих із переломами кісток передпліччя в умовах Обласної лікарні інтенсивного лікування м. Маріуполя. Травма. 2019;20(4):61-5. DOI: 10.22141/1608-1706.4.20.2019.178747.
2. Левицький АФ, Олійник СІ. Стабільний еластичний інтрамедулярний остеосинтез у дітей. Травматологія, ортопедія та протезування. 2013;3:19-24.
3. Tarniță D, Tarniță DN, Hacman L, Copiluş C, Berceanu C. In vitro experiment of the modular orthopedic plate based on Nitinol, used for human radius bone fractures. Rom J Morphol Embryol. 2010;51(2):315-20. PMID: 20495750.

4. Левицький АФ, Вітязь ВМ, Терпиловський ЮР, Бебешко ОВ. Показання до оперативного лікування діафізарних переломів кісток передпліччя у дітей з використанням малоінвазивного інтрамедулярного остеосинтезу тонкими еластичними стрижнями. Журнал «Травма». 2012;13(3):69-71.
5. Myers GJ, Gibbons PJ, Glithero PR. Nancy nailing of diaphyseal forearm fractures. Single bone fixation for fractures of both bones. *J Bone Joint Surg Br.* 2004 May;86(4):581-4. PMID: 15174557.
6. Shefelbine SJ, Simon U, Claes L, Gold A, Gabet Y, Bab I, et al. Prediction of fracture callus mechanical properties using micro-CT images and voxel-based finite element analysis. *Bone.* 2005 Mar;36(3):480-8. doi: 10.1016/j.bone.2004.11.007.
7. Sinikumpu JJ, Nietosvaara Y. Treatment of Distal Forearm Fractures in Children. *Scand J Surg.* 2021 Jun;110(2):276-80. doi: 10.1177/1457496920983104.
8. Gouk CJC, Bindra RR, Tarrant DJ, Thomas MJE. Volar locking plate fixation versus external fixation of distal radius fractures: a meta-analysis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018 Nov;43(9):954-60. doi: 10.1177/1753193417743936.
9. Anderson DD, Deshpande BR, Daniel TE, Baratz ME. A three-dimensional finite element model of the radiocarpal joint: distal radius fracture step-off and stress transfer. *Iowa Orthop J.* 2005;25:108-17.
10. Edwards WB, Troy KL. Finite element prediction of surface strain and fracture strength at the distal radius. *Med Eng Phys.* 2012 Apr;34(3):290-8. doi: 10.1016/j.medengphy.2011.07.016.
11. Fernandez FF, Langendörfer M, Wirth T, Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop.* 2010 Apr;4(2):159-67. doi: 10.1007/s11832-010-0245-y.
12. Flynn JM, Jones KJ, Garner MR, Goebel J. Eleven years experience in the operative management of pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop.* 2010 Jun;30(4):313-9. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181d98f2c.
13. Vining NC, Goldberg MJ. Pierre Lascombes: Flexible intramedullary nailing in children: the Nancy University manual: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010 (originally published in French: «Embrouillage Centromédullaire Eastique Stable» by Pierre Lascombes; Elsevier Masson SAS, 2006). *J Child Orthop.* 2010 Oct;4(5):477-8. doi: 10.1007/s11832-010-0278-2.
14. Demirtaş İ, Asfuroğlu ZM, Çolak M. Technical aspects that may affect the outcomes of pediatric patients with both-bone forearm diaphyseal fractures treated using elastic stable intramedullary nails. *J Pediatr Orthop B.* 2024 Mar 1;33(2):178-83. doi: 10.1097/BPB.0000000000001093.
15. Saidpour SH. Assessment of carbon fibre composite fracture fixation plate using finite element analysis. *Ann Biomed Eng.* 2006 Jul;34(7):1157-63. doi: 10.1007/s10439-006-9102-z.
16. Troy KL, Grabiner MD. Off-axis loads cause failure of the distal radius at lower magnitudes than axial loads: a finite element analysis. *J Biomech.* 2007;40(8):1670-5. doi: 10.1016/j.jbiomech.2007.01.018.
17. Jozsa G, Devecseri G, Vajda P, Juhasz Z, Varga M, Juhasz T. Distance of the fracture from the radiocarpal surface in childhood: does it determine surgical technique? A retrospective clinical study: A STROBE compliant observational study. *Medicine (Baltimore).* 2020 Feb;99(7): e17763. doi: 10.1097/MD.00000000000017763.

References

1. Stavyts'kyi OB, Pasternak DV, Karpushkin OV, Lyzhyn OV, Yamkovyy IA. Nash dosvid zastosuvannya blokuyuchoho intramedulyarnoho osteosyntezu pry likuvanni khvorykh iz perelomamy kistok peredplichchya v umovakh Oblasnoyi likarni intensyvnoho likuvannya m. Mariupolya. *Travma.* 2019;20(4):61-5. DOI: 10.22141/1608-1706.4.20.2019.178747. [in Ukrainian].
2. Levyts'kyi AF, Oliynyk SI. Stabil'nyy elastychnyy intramedulyarnyy osteosyntez u ditey. *Travmatolohiya, ortopediya ta protezuvannya.* 2013;3:19-24. [in Ukrainian].
3. Tarniță D, Tarniță DN, Hacman L, Copiluş C, Berceanu C. In vitro experiment of the modular orthopedic plate based on Nitinol, used for human radius bone fractures. *Rom J Morphol Embryol.* 2010;51(2):315-20. PMID: 20495750.
4. Levyts'kyi AF, Vityaz' VM, Terpylovs'kyi YUR, Bebesko OV. Pokazannya do operatyvnoho likuvannya diafizarnykh perelomiv kistok peredplichchya u ditey z vykorystanniam maloinvazyvnoho intramedulyarnoho osteosyntezu tonkymy elastychnymy stryzhnyamy. *Zhurnal «Travma».* 2012;13(3):69-71. [in Ukrainian].
5. Myers GJ, Gibbons PJ, Glithero PR. Nancy nailing of diaphyseal forearm fractures. Single bone fixation for fractures of both bones. *J Bone Joint Surg Br.* 2004 May;86(4):581-4. PMID: 15174557.

6. Shefelbine SJ, Simon U, Claes L, Gold A, Gabet Y, Bab I, et al. Prediction of fracture callus mechanical properties using micro-CT images and voxel-based finite element analysis. *Bone*. 2005 Mar;36(3):480-8. doi: 10.1016/j.bone.2004.11.007.
7. Sinikumpu JJ, Nietosvaara Y. Treatment of Distal Forearm Fractures in Children. *Scand J Surg*. 2021 Jun;110(2):276-80. doi: 10.1177/1457496920983104.
8. Gouk CJC, Bindra RR, Tarrant DJ, Thomas MJE. Volar locking plate fixation versus external fixation of distal radius fractures: a meta-analysis. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018 Nov;43(9):954-60. doi: 10.1177/1753193417743936.
9. Anderson DD, Deshpande BR, Daniel TE, Baratz ME. A three-dimensional finite element model of the radiocarpal joint: distal radius fracture step-off and stress transfer. *Iowa Orthop J*. 2005;25:108-17.
10. Edwards WB, Troy KL. Finite element prediction of surface strain and fracture strength at the distal radius. *Med Eng Phys*. 2012 Apr;34(3):290-8. doi: 10.1016/j.medengphy.2011.07.016.
11. Fernandez FF, Langendörfer M, Wirth T, Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop*. 2010 Apr;4(2):159-67. doi: 10.1007/s11832-010-0245-y.
12. Flynn JM, Jones KJ, Garner MR, Goebel J. Eleven years experience in the operative management of pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop*. 2010 Jun;30(4):313-9. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181d98f2c.
13. Vining NC, Goldberg MJ. Pierre Lascombes: Flexible intramedullary nailing in children: the Nancy University manual: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010 (originally published in French: «Embrouchage Centromédullaire Eastique Stable» by Pierre Lascombes; Elsevier Masson SAS, 2006). *J Child Orthop*. 2010 Oct;4(5):477-8. doi: 10.1007/s11832-010-0278-2.
14. Demirtaş İ, Asfuroğlu ZM, Çolak M. Technical aspects that may affect the outcomes of pediatric patients with both-bone forearm diaphyseal fractures treated using elastic stable intramedullary nails. *J Pediatr Orthop B*. 2024 Mar 1;33(2):178-83. doi: 10.1097/BPB.0000000000001093.
15. Saidpour SH. Assessment of carbon fibre composite fracture fixation plate using finite element analysis. *Ann Biomed Eng*. 2006 Jul;34(7):1157-63. doi: 10.1007/s10439-006-9102-z.
16. Troy KL, Grabiner MD. Off-axis loads cause failure of the distal radius at lower magnitudes than axial loads: a finite element analysis. *J Biomech*. 2007;40(8):1670-5. doi: 10.1016/j.jbiomech.2007.01.018.
17. Jozsa G, Devecseri G, Vajda P, Juhasz Z, Varga M, Juhasz T. Distance of the fracture from the radiocarpal surface in childhood: does it determine surgical technique? A retrospective clinical study: A STROBE compliant observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Feb;99(7):e17763. doi: 10.1097/MD.00000000000017763.

FEATURES AND ANALYSIS OF MINIMALLY INVASIVE OSTEOSYNTHESIS WITH ELASTIC TITANIUM RODS OF FOREARM BONE FRACTURES IN CHILDREN

Abstract: This article presents an analysis of the treatment of 365 children with diaphyseal fractures of the forearm bones. The features of treatment, long-term outcomes, and clinical-radiological justification are based on the study of medical histories of children who were treated from 2022 to 2024 in the pediatric trauma department of the Emergency Hospital in Chernivtsi. The aim of the study was to evaluate the outcomes and provide clinical and radiological justification for the treatment of complex forearm bone fractures in children through osteosynthesis of fragments using Titanium Elastic Nails (TEN), ensuring reliable fixation, rapid restoration of limb function, and minimization of complication risks. Three clinical groups were identified. The first clinical group included 185 children treated with conservative methods. The second group comprised 102 children who underwent osteosynthesis with Titanium Elastic Nails. The third group consisted of 78 children who received other types of osteosynthesis (plating, repositioning, external fixation). The main indication for this functionally stable osteosynthesis was intraoperative fracture instability after primary repositioning-i.e., the inability to achieve a stable and satisfactory alignment of fragments solely with external immobilization. The minimally invasive nature of the method, combined with functionally stable osteosynthesis, made it applicable for unstable forearm fractures in children at risk of impaired bone healing (older age, diaphyseal location, and associated risk factors). The method of treating forearm fractures in children using TEN is considered one of the most effective and safe approaches in modern pediatric orthopedics. It provides stable fracture fixation, rapid healing, and a swift return to normal life. Due to its minimally invasive nature, this method significantly improves patients' quality of life and shortens treatment duration.

Key words: fracture, forearm, diaphysis, functionally stable osteosynthesis, titanium elastic nails.

Відомості про авторів:

Марчук Олег Федорович – кандидат медичних наук, доцент, кафедри ортопедії та нейрохірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7690-934X>;

Ковальчук Петро Євгенович – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри травматології, ортопедії та нейрохірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7658-0978>.

Information about the authors:

Marchuk Oleh F. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Orthopedics and Neurosurgery of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7690-934X>;

Kovalchuk Petro Ye. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7658-0978>.

Надійшла 07.05.2025 р.