

УДК 615.47:616-021.6:57.089.6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕПОЗИЦІЙНОГО АПАРАТА ОРИГІНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

В. І. Гуцуляк

Івано—Франківський національний медичний університет

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF THE REPOSITION APPARATUS OF ORIGINAL CONSTRUCTION

V. I. Hutsulyak

Ivano—Frankivsk National Medical University

Реферат

Розроблений репозиційний апарат оригінальної конструкції — апарат Гуцуляка В. І. — для корекції деформації кісток та суглобів. В програмі Autodesk Inventor 11 створено тривимірну динамічну імітаційну модель системи "кістка — репозиційний апарат", на якій проаналізовані конструктивні особливості запропонованого апарата щодо переміщення кісткових фрагментів. Апарат забезпечує можливість незалежного переміщення кісткових фрагментів за шістьма ступенями свободи без перемонтажу репозиційних вузлів. Запропонована технологія репозиції при застосуванні апарата забезпечує управління просторовою орієнтацією кісткових фрагментів з високою точністю, що досягається завдяки можливості прикладання всіх репозиційних зусиль в одній точці, що дозволить значно підвищити ефективність лікування потерпілих з приводу переломів довгих кісток з використанням методу черезкісткового остеосинтезу.

Ключові слова: черезкістковий остеосинтез; репозиція; апарат зовнішньої фіксації; тривимірна модель.

Abstract

"Gutsulyak V. I. apparatus", the reposition apparatus of original construction, was elaborated for correction of the bones and joints deformity. A three—dimensional dynamical simulating pattern of the "bone—apparatus for reposition" system was created in the Autodesk Inventor 11 program. The system was applied for analysis of construction peculiarities of the apparatus proposed, which moves osseous fragments. The apparatus guarantees the possibility of independent transposition of osseous fragments by six degrees of freedom without over—setting up of the bundles being repositioned. The reposition technology, while applying the apparatus proposed, ensures governing of the space orientation of osseous fragments with high accuracy due to possibility to make efforts in one point, permitting to raise the treatment efficacy in the injured persons, suffering the long bones fractures, using transosseous osteosynthesis.

Keywords: transosseous osteosynthesis; reposition; apparatus of external fixation; three—dimensional pattern.

В останні роки широко використовують апарати—гексаподи Taylor Spatial Frame, Ilizarov Hexapod Apparatus, Орто—СУВ [1 — 3]. Особливістю конструкцій цих апаратів зовнішньої фіксації (АЗФ) є сполучення черезкісткових модулів проксимального і дистального фрагментів за допомогою 6 страт. Обидва кінці кожної з страт виготовлені у вигляді карданів або кульових з'єднань для шарнірного сполучення з опорами. Репозицію в цих апаратах здійснюють шляхом комп'ютерної навігації, що дозволяє одноетапно усувати складну багатокомпонентну деформацію в різних площинах. Проте, ці пристрої не забезпечують високу точність репозиції кісткових уламків, дорогі, потребують спеціального програмного комп'ютерного забез-

печення [3, 4]. Апарат Ілізарова має кращі репозиційні можливості порівняно з гексаподами [5], проте, для корекції кожного компонента деформації потрібне перемонтування репозиційних вузлів, що значно підвищує трудомісткість його застосування.

Отже, незважаючи на значну кількість існуючих технічних рішень, проблема створення АЗФ, конструкція якого здатна забезпечити незалежне переміщення кісткових фрагментів за шістьма ступенями свободи, належить до актуальних і не вирішених проблем сучасної травматології та ортопедії [6].

Мета дослідження: на основі тривимірного комп'ютерного моделювання експериментально обґрунтувати функціональні можливості та

технологію здійснення репозиції кісткових фрагментів при використанні розробленого автором репозиційного апарата.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В середовищі програми Autodesk Inventor 11 розроблений репозиційний АЗФ — апарат Гуцуляка В. І. — для корекції деформації кісток та суглобів [7].

Деталі апарата створювали в режимі "Model" цієї програми кількома способами [8, 9].

Перший спосіб передбачав створення в режимі "Sketch" двовимірного ескіза однієї з поверхонь майбутньої деталі. В тривимірному режимі "Model" за допомогою функції "Extrude" "вичавлювали" (формува-

ли) частину деталі на визначену довжину. Наступним етапом виділяли площину на одній з поверхонь деталі, створювали в режимі "Sketch" на ній ескіз та формували наступну частину в режимі "Model". У такий спосіб моделювали всі частини деталі. Застосування такого способу моделювання було пріоритетним під час первинної розробки деталей, коли їх зовнішні габарити ще не були визначені.

Другий спосіб полягав у першочерговому створенні на площині в режимі "Sketch" двовимірної ескіза та формування в режимі "Model" за допомогою функції "Extrude" фактично заготовки всієї деталі. Наступним етапом виділяли площину на одній з поверхонь деталі та створювали в режимі "Sketch" на ній ескіз, згідно з яким в режимі "Model" за допомогою функції "Extrude" вичавлювали "зайві" частини деталі.

З інженерної точки зору, другий спосіб більш раціональний в плані наближення до реального процесу виготовлення деталей. За етапністю моделювання, відображеною в браузері програми, можна скласти схему процесу виготовлення деталей. Файли створених за цим способом деталей використовували як шаблони, що застосовували для розробки однотипних деталей.

Застосовували також спосіб дзеркального відображення деталей, що полягав у створенні на одній по-

площини та формуванні відносно неї дзеркальної копії деталі. Зборку вузлів та компонування АЗФ здійснювали в режимі "Assembly".

Особливістю цього режиму програми є те, що одна деталь відносно іншої має необмежену кількість ступенів свободи. Тому для моделювання реального з'єднання деталей встановлювали залежності, що виключали їх "зайві" ступені свободи.

В режимі "Assembly" програми створено тривимірну динамічну імітаційну модель системи "кістка — репозиційний апарат", проаналізовані його конструктивні особливості щодо переміщення кісткових фрагментів за шістьма ступенями свободи.

Перелом кістки моделювали в такий спосіб. Шляхом відсічення "зайвих" частин від інтактної кістки, по чергово створювали проксимальний та дистальний фрагменти, що зберігали як окремі файли.

В файлі зборки фрагменти розташовували на відстані 1 мм збереженням їх попередньої просторової орієнтації.

На створеній в програмі Autodesk Inventor 11 динамічній 3D моделі апарата моделювали репозицію всіх типів лінійних та кутових зміщень кісткових фрагментів. В режимі "Inspect" за допомогою команди "Analyze Interference" аналізували пересічення контактів переміщуваних суміжних деталей апарата.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розроблений автором репозиційний АЗФ (рис. 1) містить проксимальні (1) і дистальні (2) опори, різьбові штанги (3 — 6), два репозиційні вузли (7), стяжно—розвідний механізм (8). Опори (1, 2) виготовлені з отворами, в яких за допомогою елементів кріплення (кронштейнів, болтів з отвором під головою тощо) можливо фіксувати стрижневі й спицеві черезкісткові елементи. Проксимальні опори (1) сполучаються з репозиційними вузлами (7) за допомогою трьох взаємно перпендикулярно з'єднаних різьбових штанг (3 — 5), що забезпечують можливість лінійного переміщення репозиційних вузлів в трьох площинах. Репозиційні вузли (7) з'єднуються з дистальною опорою (2) різьбовими штангами (6).

З метою збільшення жорсткості фіксації уламків в апараті передбачена можливість використання додаткового шарнірного дистрактора (9), що безпосередньо з'єднує проксимальні опори апарата з дистальними. Різьбові штанги (3 — 6) з встановленими на них гайками (з точками мітками на гранях) виготовлені з поздовжніми лисками, на яких нанесені лінійні міліметрові шкали.

Основу репозиційного вузла (7) становить триланковий шарнірний механізм (рис. 2).

Осі обертання всіх трьох шарнірів (10—12) в репозиційному вузлі (7) перетинаються в одній точці, що дозволяє прикладати всі репозиційні зусилля апарата в одній точці (розташована на середині відстані між двома репозиційними вузлами (7) точка *O*, рис. 3), що значно підвищує точність репозиції. Вісь шарніра (10) виготовлена з осьовим каналом для направляючої спиці (13). Шарніри (10 — 12) виконані з можливістю їх фіксації в необхідному положенні, що здійснюють за допомогою гайок з шайбами. Різьбові штанги (4) для поперечних переміщень виконані з різноспрямованими різьбами і сполучені одна з одною за допомогою стяжно—розвідного механізму (8), він складається з двох телескопічно з'єднаних муфт з різноспрямованими внутрішніми різь-

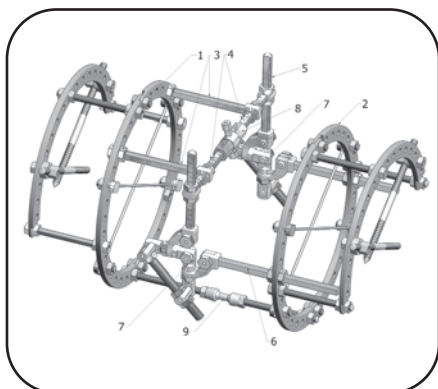


Рис. 1.

Загальний вигляд репозиційного АЗФ
Гуцуляка В. І., вид в аксонометрії:
1, 2 - опори; 3 - 6 - різьбові штанги;
7 - репозиційний вузол;
9 - шарнірний дистрактор.

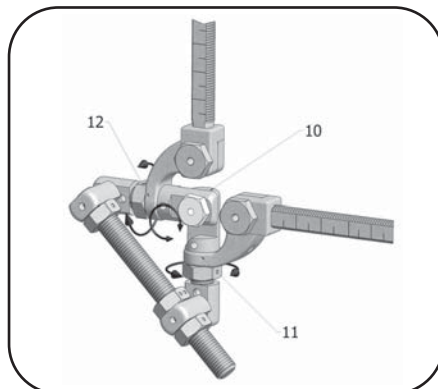


Рис. 2.

Репозиційний вузол апарата:
10 - шарнір, розташований в сагітальній;
11 - шарнір, розташований у фронтальній;
12 - шарнір, розташований в горизонтальній площині;
стрілками вказані напрямки обертання шарнірів.

верхонь готової деталі "робочої"

бами, що взаємодіють з відповідними різьбовими штангами (4). З одного боку муфти виконані у вигляді шестигранників з можливістю їх обертання за допомогою гайкового ключа, з іншого — у вигляді циліндрів з наскрізними поперечними отворами, в які встановлюють штифт (14) для з'єднання муфт одна з одною. Штифт (14) виготовлений з осьовим каналом для направляючої спиці (15). Завдяки наявності стяжно—розвідного механізму (8), що забезпечує зміну відстані між репозиційними вузлами, можливе збільшення кута повороту шарнірів з паралельними осями обертання (11, 12). Це дозволяє усувати кутові та ротаційні зміщення будь—якої величини та уникати при цьому деформування апарата. Розташування різьбових штанг (4) для усунення поперечного зміщення між репозиційними вузлами (7) дозволяє мінімізувати зовнішні габарити апарата.

Наявність осьових каналів в осях репозиційних вузлів та штифті стяжно—розвідного механізму (8), в які встановлюють направляючі спиці, дозволяє точно центрувати репозиційні вузли апарата відносно обраних умовних осей обертання дистального фрагмента (сегмента), а це, відповідно, збільшує точність репозиції. Різьбові штанги (4) з лисками, на яких нанесені лінійні міліметрові шкали, та гайки з точками—мітками на гранях забезпечують можливість візуального контролю за здійснюваними переміщеннями.

З'єднання репозиційних вузлів (7) з вушками різьбових штанг (3 — б) за допомогою болтів та виконання стяжно—розвідного механізму (8) з двох муфт, з'єднаних за допо-

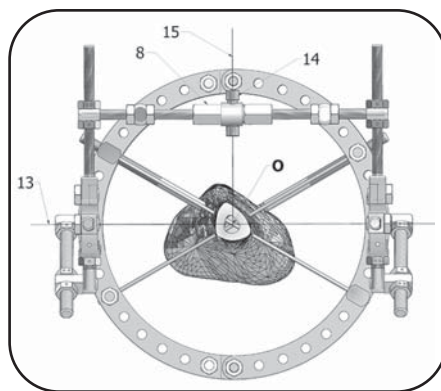


Рис. 3.
Загальний вигляд репозиційного АЗФ, вид на перерізі:
8 - стяжно-розвідний механізм;
13, 15 - направляючі спиці; 14 - штифт;
О - точка прикладання всіх репозиційних зусиль апарата.

могою штифта, забезпечує можливість швидкого демонтування репозиційних елементів після досягнення репозиції та можливість їх використання для усунення зміщення фрагментів кісток, що вже синтезовані в АЗФ.

Визначені можливі ступені свободи переміщення кісткових фрагментів, що забезпечують за допомогою репозиційних елементів апарата:

- лінійне переміщення відносно поздовжньої осі (компресія/дистракція);
- лінійне переміщення у фронтальній площині (всередину/назовні);
- лінійне переміщення в сагітальній площині (вперед/назад);
- кутове переміщення у фронтальній площині (варус/вальгус);
- кутове переміщення в сагітальній площині (рекурвація/антекурвація);
- кутове переміщення в горизонтальній площині (внутрішня ротація/зовнішня ротація).

Розроблена технологія репозиції, що дозволяє незалежне переміщення кісткових фрагментів за шістьма ступенями свободи, включає такі етапи:

- центрація за допомогою направляючих спиць репозиційних вузлів АЗФ відносно визначених умовних осей обертання дистального фрагмента;
- усунення зміщення за довжиною з створенням міжфрагментарного діастазу 1 — 2 мм;
- усунення кутового зміщення у фронтальній площині;
- усунення кутового зміщення у сагітальній площині;
- корекція ротаційних зміщень;
- усунення зміщення за шириною у фронтальній площині;
- корекція зміщення за шириною у сагітальній площині;
- міжфрагментарна компресія залежно від площини зламу.

ВИСНОВКИ

1. Розроблений репозиційний апарат, конструкція якого забезпечує можливість незалежного переміщення кісткових фрагментів за шістьма ступенями свободи без перемонтування репозиційних вузлів.

2. Запропонована технологія репозиції при застосуванні апарата забезпечує управління просторовою орієнтацією кісткових фрагментів з високою точністю, це досягається завдяки можливості прикладання всіх його репозиційних зусиль в одній точці, що дозволить значно підвищити ефективність лікування потерпілих з приводу переломів довгих кісток з використанням методу черезкісткового остеосинтезу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соломин ЛН, Щепкина ЕА, Виленский ВА, и др. Коррекция деформаций бедренной кости по Илизарову и основанном на компьютерной навигации аппаратом "Орто—СУВ". Травматология и ортопедия России. 2011;3(61);32—9.
2. Feldman DS, Shin SS, Madan S, et al. Correction of tibial malunion and nonunion with six—axis analysis deformity correction using the Taylor spatial frame. Orthop Trauma. 2003;17(8):549—54.
3. Fragomen AT, Rozbruch SR. The mechanics of external fixation. HSS J. 2007;3(1):13—29.
4. Соломин ЛН, Виленский ВА, Утехин АИ, и др. Сравнительный анализ жесткости остеосинтеза, обеспечиваемой чрескостными аппаратами, работающими на основе компьютерной навигации, и комбинированным спице—стержневым аппаратом. Травматология и ортопедия России. 2009;2(52):20—5.
5. Соломин ЛН, Виленский ВА, Утехин АИ, и др. Сравнительный

- анализ репозиционных возможностей чрескостных аппаратов, работающих на основе компьютерной навигации и аппарата Илизарова. Гений Ортопедии. 2009;1:5—10.
6. Мацукатов ФА, Бойчук СП, Хубаев НД. Анализ функционально—эргономических характеристик аппаратов внешней фиксации и прогнозирование эффективности их применения в клинической практике. Там же. 2013;2:51—7.
7. Апарат Гуцуляка В. І. для корекції деформацій кісток та суглобів: пат. 87072 Україна. № 200804780; заявл. 14.04.08; опубл. 10.06.09, Бюл. № 11.
8. Бушманов АВ. Проектирование фиксирующих устройств в травматологии на основе САД/САЕ/САМ—технологий II. Мед информатика. 2008;3(17):3—8.
9. Концевич ВГ. Твердотельное моделирование в Autodesk Inventor. Киев, Москва: Диа—СофтЮП, ДМК Пресс, 2008. 672 с.