

СТАБІЛЬНІСТЬ МЕТАЛООСТЕОСИНТЕЗА КЛЮЧИЦІ НАКІСТКОВИМИ ПЛАСТИНАМИ ПРИ ПЕРЕЛОМІ ЇЇ АКРОМІАЛЬНОГО КІНЦЯ ІЗ ДЕФЕКТОМ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ (експериментальне дослідження)

Долгополов О.В.¹, Безрученко С.О.¹, Зінченко В.В.¹,
Суворов В.Л.¹, Карпінська О.Д.², Карпінський М.Ю.²

¹ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків

Ключові слова: *ключиця, перелом, металоостеосинтез, накісткова пластина, навантаження, переміщення*

Вступ. Переломи ключиці належать до одних із найпоширеніших ушкоджень у цивільній травматології, їхня частка становить 5–11 % серед усіх переломів кісток скелета [1]. Упродовж останніх десятиліть відбулись суттєві зміни традиційних принципів лікування переломів ключиці: хірургічні методи отримали чіткі показання, були значно вдосконалені й на сьогодні переважають у клінічній практиці [2]. Бойові ушкодження ділянки надпліччя з переломами ключиці становлять особливий клінічний інтерес, оскільки істотно відрізняються від травм мирного часу [3,4]. За даними Лоскутова О.Є., серед 1809 поранених військовослужбовців у 31,5% були вогнепальні переломи, серед яких переломи лопатки і ключиці діагностували в 14,7% пацієнтів [5]. Відомо, що частота незрощень ключиці після консервативного лікування ставить 0,1–5% пацієнтів, тоді як після оперативного лікування цей показник підвищується до 2,6–8 %. Незрощення ключиці може призвести до хронічного больового синдрому та стійкої втрати функції плечового суглоба [6]. Порівняно з гострими закритими переломами без дефекту кісткової тканини, хірургічне лікування вогнепальних поліструктурних переломів ключиці, що супроводжуються дефектами кісткової, м'язової, сухожильної тканини та рубцевою трансформацією або дефектом шкіри, асоціюються з високим рівнем ускладнень і часто незадовільними клінічними результатами. Це становить суттєву проблему для ортопедів-травматологів [7]. Найбільш поширеним підходом до лікування незрощення ключиці є відкрита репозиція з фіксацією пластиною, розташованою по верхній поверхні кістки, у поєднанні з кістковою пластиною. Така тактика дає можливість

раннього відновлення й у цілому забезпечує сприятливі результати [8]. Проте за даними довгострокових досліджень частота незрошення залишається на рівні 3,1–10,5%. Одним із пояснень таких невдач є механічна нестабільність між обома кінцями перелому [9]. Тому метою нашого дослідження було порівняти стабілізуючі можливості різних методик фіксації переломів ключиці з дефектом кісткової тканини з метою оптимізації тактики хірургічного лікування пацієнтів із цим типом ушкоджень.

Мета. Вивчити стабілізуючі можливості варіантів остеосинтезу фрагментів ключиці при переломі на межі діафізу та надплечового кінця із дефектом кісткової тканини.

Матеріали та методи. В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» сімісно із співробітниками лабораторії біомеханіки ДУ «ІТО НАМН України» були проведені експериментальні дослідження стабілізуючих можливостей металоостеосинтезу ключиці накістковими пластинами при переломі на межі діафізу та надплечового кінця ключиці із дефектом 2 см, який був заповнений трансплантатом відповідного розміру та фіксований гвинтами. Експеримент проводили на пластикових моделях, на яких шляхом розпилу моделювали перелом із дефектом ключиці.

Досліджували два варіанта остеосинтезу: 1 S-подібна ключична блокуюча пластина 3,5 мм та 7 гвинтів (по 3 гвинти для фіксації проксимального та дистального фрагментів та 1 гвинт для фіксації трансплантату), фіксація проведена по верхній поверхні ключиці в горизонтальній площині; 2 пластини, фіксація в двох перпендикулярних площинах, горизонтальній та вертикальній (зверху і спереду): S-подібна ключична блокуюча пластина 3,5 мм та 7 гвинтів (по 3 гвинти для фіксації проксимального та дистального фрагментів та 1 гвинт для фіксації трансплантату) та попередньо змодельована блокуюча пряма пластина 2,4 мм та 7 гвинтів (по 3 гвинти для фіксації проксимального та дистального фрагментів та 1 гвинт для фіксації трансплантату).

Вивчали 2 варіанти остеосинтезу ключиці: одною пластиною та двома пластинами, в кожній групі по 5 зразків. Визначали величину переміщення фрагментів ключиці під впливом навантаження в двох площинах, у вертикальній (зверху-донизу) і горизонтальній (спереду-назад). Напрямок навантаження змінювали шляхом повороту зразка на 90°.

При проведенні випробувань груднинний кінець ключиці жорстко закріплювали, навантаження прикладали до її надплечового кінця. Навантаження ступінчасто збільшували від 0 до 50 Н з кроком 10 Н. Вище навантаження не піднімали по причині того, що в деяких випадках величина переміщення надплечового кінця ключиці перевищувала межу вимірювання мікрометра 10,00 мм. Величину навантаження вимірювали за допомогою тензодинамометричного датчику SBA-100L, результати контролювали пристроєм реєстрації даних CAS типу CI-2001A.

На кожному кроці навантаження вимірювали величину переміщення Δl надплечового кінця ключиці, величину переміщень вимірювали за допомогою мікрометричного індикатора часового типу.

Дані були оброблені статистично. Для кожного кластеру експерименту визначали середнє значення (M) та стандартне відхилення (SD). Для порівняння груп застосовували багатомірний дисперсійний аналіз (MANOVA) з подальшим Pos-host тестом Duncan.

Результати. Як показали проведені випробування, при остеосинтезі ключиці з переломом на межі діафізу та надплечового кінця однією пластиною його стабільність залежить від напрямку дії навантаження. Якщо навантаження діє у вертикальному напрямку зверху-донизу, тобто в площині перпендикулярній площині пластини, переміщення надплечового кінця ключиці незначні і визначаються в межах від $(0,30 \pm 0,04)$ мм при навантаженні 10 Н до $(3,24 \pm 0,13)$ мм при навантаженні 50 Н. Тобто пластина досить ефективно протидіє такому навантаженню.

Зовсім інша картина спостерігається при навантаженні діючому в горизонтальній площині, тобто в площині паралельній площині пластини. Вже при мінімальні величині навантаження 10 Н переміщення надплечового кінця ключиці визначається на рівні $(2,61 \pm 0,28)$ мм, а при максимальному навантаженні 50 Н переміщення сягають позначки $(9,70 \pm 0,32)$ мм. Такий результат можна пояснити тим, що при вертикальному навантаженні спротив йому здійснює вся накісткова пластина. При горизонтальному навантаженні пластина практично не працює і фрагменти тримаються тільки на фіксуючих гвинтах.

Остеосинтез ключиці двома пластинами показав зовсім інші результати випробувань. На графіку видно, що криві зміни величини переміщень в залежності від напрямку дії навантаження розташовані практично паралельно, що свідчить про мінімальну залежність

стабільності ключиці від напрямку дії згинаючої сили. Як бачимо, при навантаженні 10 Н різниця величин переміщення акроміального кінця ключиці мінімальна в абсолютних значеннях вони визначаються на позначках $(0,18 \pm 0,02)$ мм і $(0,33 \pm 0,10)$ мм при вертикальному та горизонтальному навантаженні, відповідно. По мірі підвищення навантаження величини переміщень надплечового кінця ключиці збільшуються до рівня $(2,16 \pm 0,16)$ мм при вертикальному навантаженні і до $(3,36 \pm 0,21)$ мм при горизонтальному. Різниця при цьому складає трохи більше 1,00 мм. Це відбувається за рахунок того, що в даному випадку опір як вертикальному, так і горизонтальному навантаженню здійснюють накісткові пластини. Різниця в показниках переміщень надплечового кінця ключиці відбувається завдяки різниці геометричних розмірів пластин - бічна пластина значно тонше.

Результат проведеного дисперсійного аналізу показав, що при навантаженні 10 Н всі зразки ключиці не залежно від напрямку навантаження і варіанту остеосинтезу забезпечують однакову стабільність її надплечового кінця. Виняток складають зразки з остеосинтезом однією пластиною під впливом горизонтального навантаження, які з середнім показником величини переміщень 2,61 мм були віднесені в окрему підгрупу. Це означає, що вони з вірогідністю $p < 0,05$ відрізняються від інших зразків, які віднесені до першої підгрупи, що свідчить про відсутність статистично значущої різниці між ними ($p = 0,143$).

Підвищення величини навантаження до 20 Н більшого відокремлення груп піддослідних зразків в залежності від напрямку навантаження і варіанту остеосинтезу. Найкращий результат показали зразки з остеосинтезом двома пластинами під впливом вертикального навантаження із середнім показником зміщення акроміального кінця ключиці на 0,47 мм. Їх розташування в першій підгрупі свідчить про те, що вони статистично значуще ($p < 0,05$) відрізняються від всіх інших досліджених зразків. Найгірший результат, в середньому 5,70 мм, показали зразки ключиці з остеосинтезом однією пластиною під впливом навантаження в горизонтальній площині. Вони також статистично значуще ($p < 0,05$) гірші за все інші варіанти, тому потрапили до третьої підгрупи. Група зразків з остеосинтезом однією пластиною під впливом вертикального навантаження – середній показник переміщення 0,68 мм та група з остеосинтезом двома пластинами – 0,78 мм потрапили до однієї підгрупи 2, що означає відсутність статистично значущої різниці ($p = 0,104$) між ними. Але

потрапляння їх до окремої підгрупи, говорить про те, що вони статистично значущо ($p < 0,05$) відрізняються і від групи з остеосинтезом двома пластинами при вертикальному навантаженні, і від групи з остеосинтезом однією пластиною при навантаженні в горизонтальній площині.

Підвищення величини навантаження до 30 Н, незважаючи на загальне підвищення величин переміщення надплечового кінця ключиці во всіх досліджених групах зразків ключиці, змін значущості різниці між групами не відбулося. Статистично значуще ($p < 0,05$) краще за всі інші групи виглядали зразки з остеосинтезом двома пластинами при вертикальному навантаженні (середня величини зміщення 0,70 мм). Гірше за всіх ($p < 0,05$) виглядали зразки з остеосинтезом однією пластиною під впливом горизонтального навантаження з показником 7,32 мм. Зразки з остеосинтезом однією пластиною під впливом навантаження у вертикальному напрямку з середнім показником 1,09 мм та зразки з остеосинтезом двома пластинами під впливом горизонтального навантаження – 1,17 мм показали практично однакові результати, про що свідчить показник значущості різниці $p = 0,184$.

Подальше підвищення величини навантаження до 40 Н також не призвело до перерозподілу значущості відмінностей між показниками величини переміщення надплечового кінця ключиці між різними групами зразків. Як і при попередній величині навантаження статистично значущо ($p < 0,05$) за всі інші зразки найнижчу 1,00 мм середню величину переміщення надплечового кінця ключиці визначили в групі зразків з остеосинтезом двома пластинами під впливом вертикального навантаження. Статистично значущо ($p < 0,05$) найбільшу середню величину переміщення 8,26 мм спостерігали на зразках з остеосинтезом однією пластиною під впливом горизонтального навантаження. Групи зразків з остеосинтезом однією пластиною під навантаженням у вертикальній площині та з остеосинтезом двома пластинами під впливом горизонтального навантаження не мали статистично значущих відмінностей ($p = 0,545$).

При максимальному використаному навантаженні 50 Н розподіл груп зразків за статистичною різницею середніх показників не змінився. Як завжди найкращий ($p < 0,05$) показник 2,16 мм показали зразки з остеосинтезом двома пластинами під вертикальним навантаженням. Найгірші 9,70 мм зразки з остеосинтезом однією пластиною під навантаженням в горизонтальній площині ($p < 0,05$). Групи з остеосинтезом однією пластиною під вертикальним

навантаженням та з остеосинтезом двома пластинами під горизонтальним не мали статистично значущої різниці ($p=0,381$).

Обговорення. Проведені експериментальні дослідження показали, що остеосинтез ключиці однією пластиною забезпечує стабільну фіксацію фрагментів тільки у вертикальній площині, коли навантаження діє на її надплечового кінець перпендикулярно площині накісткової пластини. В цьому випадку, щоб змістити надплечовий кінець ключиці вимушена деформувати металеву накісткову пластину, яка має значні міцнісні властивості. Під впливом навантаження в горизонтальній площині спостерігаємо іншу картину, а саме найвищі показники переміщення надплечового кінця ключиці. Це відбувається завдяки тому, що навантаження діє паралельно накістковій пластині і опір навантаження здійснюють тільки фіксуючі її гвинти, що виявляється недостатнім. Отже недоліком остеосинтезу однією накістковою пластиною є те, що вона ефективно протидіє навантаженням тільки в одній площині.

Остеосинтез ключиці двома накістковими пластинами розташованими у взаємно перпендикулярних площинах вирішує цю проблему. Проведені дослідження показали, що накладання пластин зверху і спереду ключиці забезпечує стабільність її надплечового кінця під впливом як вертикальних, так і горизонтальних навантажень. Невелика різниця в показниках переміщень надплечового кінця ключиці між групами, які випробували під впливом вертикального і горизонтального навантаження були викликані тільки фактором геометричних параметрів пластин [10]. Пластина, яку накладали на бокову поверхню ключиці була значно тонше пластини накладеною зверху, отже опір горизонтальним навантаженням був слабшим.

Висновки. Остеосинтез ключиці однією пластиною забезпечує стабільність її надплечового кінця тільки у вертикальній площині. Під впливом великих навантажень, діючих в горизонтальній площині, переміщення надплечового кінця ключиці можуть дорівнювати її діаметру в поперечному перерізі.

Остеосинтез ключиці двома пластинами розташованими у взаємно перпендикулярних площинах забезпечують стабільність її надплечового кінця незалежно від напрямку дії навантаження.

Література.

1. Wolf, S., Chitnis, A. S., Manoranjith, A., Vanderkarr, M., Plaza, J. Q., Gador, L. V., Holy, C. E., Sparks, C., & Lambert, S. M. (2022). Surgical treatment, complications, reoperations, and healthcare costs among patients with clavicle fracture in England. *BMC musculoskeletal disorders*, 23(1), 135. DOI: [10.1186/s12891-022-05075-5](https://doi.org/10.1186/s12891-022-05075-5)
2. Hochreiter, B., Saager, L. V., Zindel, C., Calek, A. K., Stern, C., Wieser, K., & Gerber, C. (2023). Computer-assisted planning vs. conventional surgery for the correction of symptomatic mid-shaft clavicular nonunion and malunion. *JSES international*, 7(6), 2321–2329. DOI: [10.1016/j.jseint.2023.07.005](https://doi.org/10.1016/j.jseint.2023.07.005)
3. Денисюк, М., Дубров С., Черняєв, С., Середа, С., & Заїкін, Ю. (2022). Структура травматичних ушкоджень та досвід лікування поранених внаслідок бойових дій в перші дні нападу росії на Україну. *PAIN, ANAESTHESIA & INTENSIVE CARE*, (1(98), 7–12. DOI: [10.25284/2519-2078.1\(98\).2022.256092](https://doi.org/10.25284/2519-2078.1(98).2022.256092)
4. Strafun, S., Kurinnyi, I., Borzykh, N., Tsymbaliuk, Y., & Shypunov, V. (2021). Tactics of Surgical Treatment of Wounded with Gunshot Injuries of the Upper Limb in Modern Conditions. *TERRA ORTHOPAEDICA*, (2(109), 10-17. DOI: [10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17](https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17)
5. Loskutov O, Zherdev I, Domanskyi A, Korol S. Surgical Management of Gunshot Wounds of Extremities in Multiprofiled Hospital. *TRAUMA*. 2022 Jan. 21;17(3):169-72. DOI: [10.22141/1608-1706.3.17.2016.75804](https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.17.2016.75804)
6. Ma, T., Huang, Q., Wang, C., Ren, C., Xu, Y., Lin, H., Zhang, K., Zhang, C., & Li, Z. (2025). Comparing two autologous bone grafting techniques to treat clavicular midshaft atrophic nonunion: a retrospective study. *Journal of orthopaedics and traumatology*. 26(1), 11. DOI: [10.1186/s10195-025-00828-z](https://doi.org/10.1186/s10195-025-00828-z)
7. Yetter, T., Harper, J., Weatherby, P. J., & Somerson, J. S. (2023). Complications and Outcomes After Surgical Intervention in Clavicular Nonunion: A Systematic Review. *JBJS reviews*, 11(1), e22.00171. DOI: [10.2106/JBJS.RVW.22.00171](https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.22.00171)
8. Cole, P. A., Dyskin, E., Dugarte, A. J., & Hesse, D. (2017). Open Reduction and Internal Fixation of a Middle-Third Clavicle Fracture with a Superior Plate. *JBJS essential surgical techniques*, 7(2), e16. DOI: [10.2106/JBJS.ST.16.00007](https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.16.00007)
9. Faraud, A., Bonneville, N., Allavena, C., Nouaille Degorce, H., Bonneville, P., & Mansat, P. (2014). Outcomes from surgical treatment of middle-third clavicle fractures non-union in adults: a series of 21 cases. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 100(2), 171–176. DOI: [10.1016/j.otsr.2013.09.011](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.09.011)
10. Павлов О, Павлова О, Мальцева В, Карпінський М, Карпінська О. Експериментальне дослідження міцності накісткових пластин з композитного матеріалу на основі полілактиду, трикальційфосфату та гідроксилапатиту. *TRAUMA*. 2024;25(4):142-5. DOI: [10.22141/1608-1706.4.25.2024.987](https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.25.2024.987)