



УДК 616.71-001.5-007.41-089.84:615.272.2:612.76

COMPARATIVE CLINICAL AND BIOMECHANICAL DATA OF OSTEOSYNTHESIS FOR DISLOCATED CLAVICLE BODY FRACTURES WITH COMPRESSION ROD

ПОРІВНЯЛЬНІ КЛІНІЧНІ ТА БІОМЕХАНІЧНІ ДАНІ ОСТЕОСИНТЕЗА ДИСЛОКОВАНИХ ПЕРЕЛОМІВ ТІЛА КЛЮЧИЦІ КОМПРЕСУЮЧИМ СТРИЖНЕМ

Нарон О.М./ Гапон Олександр Миколайович

аспірант

*Municipal enterprise Kyiv city clinical hospital №6,
Kyiv, Ukraine, Lubomir Husar avenue, 3.*

*Комунальне підприємство «Київська міська клінічна лікарня №6»
м. Києва. Київ, Україна, проспект Любомира Гузара, 3.*

Анотація. Для остеосинтеза тіла ключиці використовують різні імпланти, перевагу мають контуровані пластини LCP та інтрамедулярні стрижні. При використанні останніх можуть виникати типові ускладнення – міграція, деформація імпланта з наступним порушенням консолідації ключиці.

Мета. В роботі вивчена ефективність компресуючого стрижня для остеосинтеза дислокованих переломів тіла ключиці типу ОТА 15.2АВ на основі біомеханічних та клінічних досліджень. При біомеханічних дослідженнях аналізувалися результати комп'ютерних експериментальних досліджень, а також дані метода скінчених елементів. Клінічні спостереження охоплювали 43 пацієнта у віці 18-64 роки з дислокованими переломами тіла ключиці ОТА 15.2АВ яким було виконано остеосинтез компресуючим стрижнем. Біомеханічні дослідження моделювання остеосинтеза дислокованих переломів тіла ключиці ОТА 15.2АВ показали переваги компресуючого стрижня у порівнянні з традиційним інтрамедулярним стрижнем Богданова в аспекті максимального навантаження, необхідного для деформації, руйнування імплантів, а також створення більшої стабільності остеосинтеза ключиці при її торсії та вигині. У пацієнтів клініко-рентгенологічні дослідження після остеосинтеза тіла ключиці компресуючим стрижнем показали добрі віддалені результати були отримані у 78,1±5,8% випадків, задовільні – у 19,5±2,4%, незадовільні – у 2,4%. Можливість використання закритого остеосинтеза дислокованих переломів тіла ключиці ОТА 15.2АВ компресуючим стрижнем створює добрі умови для репаративних процесів, запобігає розвитку типових ускладнень інтрамедулярного остеосинтезу.

Ключові слова: переломи тіла ключиці, остеосинтез, інтрамедулярні стрижні.

Вступ.

Актуальність проблеми лікування переломів ключиці пояснюється з одного боку їх частотою, яка досягає 2,6-11,7%, при цьому переломи тіла ключиці (ПТК) складають 70-80% випадків [1,2]. З іншого боку – варіабельністю способів остеосинтеза шпичі, стрижні, пластини, гвинти, позавогнищеві апарати. В останній час при хірургічному лікуванні дислокованих ПТК перевагу віддають накістковому остеосинтезу за допомогою контурованої пластини LCP, або



інтрамедулярному – стрижнями різних конструкцій [3,4]. Безумовно на вибір цих імплантів впливає характер самого ПТК, вважається, якщо при переломах типу 15.2AB (класифікація OTA OA/ASIF) з успіхом можливо використовувати обидва приведені способи металоостеосинтезу (МОС), то при переломах типу 15.2C (багатоуламкові переломи) перевагу мають пластини [5,6]. Порівнюючи приведені методи МОС ПТК в аспекті обсягу хірургічного втручання і його наслідків, слід відмітити, що вони мають свої переваги і недоліки. Так при МОС пластинами, як правило, більше час хірургічного втручання, хірургічний доступ, ступінь травматизації м'яких тканин та окістя, можливе формування келоїдних рубців, частіше виникають повторні переломи ключиці після видалення пластин. Однак, пластини створюють більшу стабільність остеосинтеза ПТК, особливо при переломах типу 15.2C у порівнянні з стрижнями [7,8].

У останні десятиріччя у світі при хірургічному лікуванні дислокованих ПТК став популярним МОС еластичним титановим стрижнем (ESIN). Цей метод може використовуватись як малоінвазивна техніка закритого остеосинтеза з мінімальною травматизацією як м'яких тканин так і окістя [9,10,11]. Однак, не дивлячись на переваги, який має ESIN у порівнянні з пластинами, при ньому також можуть виникати ускладнення: перфорація шкіри з міграцією імплантату, злам імплантату, порушення зрощення ключиці у вигляді сповільненого зрощення або незрощення. При бажанні запобігти відмічених ускладнень нами удосконалена конструкція традиційного інтрамедулярного стрижня для МОС ПТК: при його діаметрі у 3 мм, він має свердло для введення у кістково-мозкову порожнину кістки, а також компресуючу конструкцію [12].

Мета дослідження: вивчити ефективність компресуючого стрижня для остеосинтезу дислокованих переломів тіла ключиці типу 15.2AB на основі біомеханічних та клінічних досліджень.

Матеріали і методи.

При проведенні біомеханічних досліджень використовувалися дані КТ ключиці. Біомеханічні характеристики компресуючого стрижня вивчали у порівнянні з традиційними інтрамедулярними стрижнями (стрижень Богданова).



На обидва імпланти прикладались різні навантаження: осьове навантаження (імітація компресійних сил), згинальні навантаження (імітація сил, які виникають при рухах плеча). Вимірювалися такі параметри як жорсткість імплантатів при вигині, торсійна жорсткість, навантаження до деформації імплантата та руйнування. У комп'ютерному моделюванні використовувалися моделі ключиці створені за допомогою МСЕ, вони дозволяли оцінити розподіл напружень та деформацій в ключиці та фіксуючих імплантатах при різних типах навантажень. Вимірювалися такі параметри як максимальне напруження (VMS) а також ступінь міжфрагментарного зміщення.

Схема етапів комп'ютерного експерименту представлена на рис.1



Рисунок 1 – Схема етапів комп'ютерного експерименту

Навантаження прикладалися до моделі у вигляді сил та/або моментів у фізіологічно релевантних точках та напрямках імітуючи різні сценарії: осьове стиснення (400 Н, 700 Н), триточковий вигин, кручення (5 Нм), або комбіноване навантаження. Аналіз результатів (постпроцесинг) включав візуалізацію розподілу еквівалентних напружень за фон Мізесом (σ_{vms}), максимальних головних напружень/деформацій, та переміщень у вузлах моделі. Отримані дані для різних методів фіксації ключиці (компресуючий стрижень, стрижень Богданова) порівнювалися між собою при адекватних умовах навантаження. За наявності достатньої кількості варіантів проводився статистичний аналіз, включаючи кореляційний та регресійний для виявлення залежностей між прикладеними навантаженнями та результуючими



напруженнями / переміщеннями. Біомеханічні дослідження консультовані кандидатом технічних наук, доцентом кафедри цифрових технологій НТУУ ім. І.Сікорського О.В. Залевською.

Клінічні спостереження охоплюють 43 пацієнта (у віці 18 - 64 років) з дислокованими ПТК типу 15.2А,В яким було з 2018-го по 2024 р. у клінічній лікарні № 6 міста Києва (база кафедри ортопедії і травматології НУОЗ України імені П.Л. Шупика) виконано МОС компресуючим стрижнем. Серед пацієнтів жінок було 14, чоловіків – 29, дослідження схвалено комісією з біоетики НУОЗ України імені П.Л. Шупика (протокол № 6/5 від 28.06.2024 р.) . Дослідження виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини (2000 р). включаючи перегляд ВС – ОСР, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я (1992-й рік), усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень. Усі пацієнти підписали інформовану згоду. Обстеження пацієнтів з ПТК проводили відповідно стандартних клініко - рентгенологічних вимог у терміни до операції, перші 1 - 3 доби 2,3,4 тижні 1,5, 3, 6 і 12 місяців після операції. У динаміці обстеження пацієнтів крім традиційних клініко - рентгенологічних методів використовувалися оцінка ступеня вираженості больового синдрому за 10- бальною шкалою ВАШ [13], а також дані опитувальника DASH- score (The disabilities of the arm, shoulder and hand) – функціональні можливості верхньої кінцівки [14]. Вивчення віддалених результатів МОС ПТК компресуючим стрижнем проводилось згідно стандартів оцінки якості лікування пошкоджень та захворювань органів опори і руху затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 03.03.1994р. № 44 в терміни від 1 до 5 років.

Статистично обробку одержаних результатів досліджень проводили із використанням параметричного t- критерію Стьюдента. Результати обробляли із застосуванням пакету прикладних програм Riosat-4 (Statsoft Inc., США), Statustuen 8,0 (Statsoft Inc.,США), або Excel 2010 (Microsoft, США).

Результати.

На основі біомеханічних досліджень вивчення критичних навантажень на



імпланти (стрижень Богданова, компресуючий стрижень) і ключицю в умовах моделювання МОС ПТК нами виявлені данні, які представлені у табл.1.

Таблиця 1 – Біомеханічна характеристика критичних навантажень на компресуючий стрижень у порівнянні зі стрижнем Богданова

Параметр	Стрижень Богданова	Компресуючий стрижень	Співвідношення	Критерій P
Жорсткість (Вигин)	~60-70 Н/мм	~80-95 Н/мм	~1,3-1,4x	<0,05
Жорсткість (Торсійна)	~0.15-0.20 Н·м/град	~0,20-0,25 Н·м/град	~1,3 x	<0,05
Навантаження до деформації	~200-250 Н	~250-320 Н	~1,3 x	<0,05
Навантаження до руйнування	~350-400 Н	~550-650 Н	~1,6 x	<0,02
Макс. VMS - Імплантат (МПа, Вигин)	~500-600 МПа	~550-650 МПа	~1,1 x	>0,05
Макс. VMS - Імплантат (МПа, Кручення)	~600-700 МПа	~450-500 МПа	~0,7-0,8 x	<0,05
Макс. VMS - Кістка (МПа, Вигин)	~50-60 МПа	~45-55 МПа	~0,9 x	>0,05
Макс. Зміщення (мм, Вигин)	~1,0-1,2 мм	~0,7-0,8 мм	~0,7-0,8 x	<0,05

Примітка: критерій «P» розраховано при порівнянні навантажень на компресуючий стрижень та стрижень Богданова.

Дані цієї таблиці свідчать, що при оцінці жорсткості обох імплантів на вигин перевагу мав компресуючий стрижень, критичне навантаження для нього склало 80 - 95 Н/мм (при стрижні Богданова 60-70 Н/мм), що було у 1,3-1,4 рази вищим ($p < 0,05$). Також при компресуючому стрижні вищою була і жорсткість торсійна – 0,20-0,25 Н.м/град (при стрижні Богданова- 0,15-0,20 Н.м/град), що було в 1,3 рзи вищим ($p < 0,05$). Навантаження до деформації компресуючого стрижня склало 250 -320 Н, до його руйнування 550- 650 Н (для стрижня Богданова – відповідно 200-250 Н і 350-400 Н), що становило в 1,3-1,6 раз більше



величини ($p < 0,05$). Величина максимального напруження компресійного стрижня при його вигині відповідала 550-650 МПа, стрижня Богданова 500-600 МПа, різниця не була статистично достовірною. Максимальне напруження компресійного стрижня при його крученні становило 450-500 МПа що було у 0,7-0,8 разів менше стрижня Богданова ($p < 0,05$). Максимальне напруження ключиці при її вигині складало при компресійному стрижні 45-55 МПа, стрижні Богданова 50- 60 МПа, різниця статистично недостовірна. Величина максимального зміщення фрагментів ключиці з компресуючим стрижнем складала при її вигині 0,7-0,8 мм, стрижня Богданова 1,0- 1,2 мм щоб було у 0,7-0,8 разів меншим показником ($p < 0,05$).

Результати цих досліджень показали, що міцнісні характеристики компресуючого стрижня до деформації, руйнування мають переваги відносно традиційного стрижня Богданова, крім того при компресуючому стрижні вище стабільність ключиці при її вигині, торсії завдяки більш рівномірному розподілу ендостального тиску.

Серед 43 пацієнтів які були госпіталізовані у стаціонар з ПТК закритий МОС компресуючим стрижнем було виконано у 29 випадках відкритий у 14. Конструктивні особливості самого стрижня і техніка його використання викладені у відомостях про видачу патентів [12]. Пацієнтам після операції проводилася іммобілізація верхньої кінцівки ортезом або косиночною пов'язкою до двох тижнів з ранньою дозованою функцією плечового суглобу. Реабілітаційні заходи (ЛФК, масаж, фізіотерапія) проводились відповідно традиційним функціональним періодам.

В динаміці спостереження пацієнтів віддалені результати МОС ПТК компресуючим стрижням вивченні в строки від 1 до трьох років у 41 пацієнта, 2 пацієнта з різних причин не були у відмічені терміни на контрольних оглядах. При цьому віддалені результати оцінювали згідно стандартів оцінки якості лікування пошкоджень і захворювань органів опори та руху по критеріям добрі, задовільні, незадовільні. На діаграмі (рис.2) показано співвідношення добрих,



Рисунок 2 – Діаграма віддалених результатів МОС ПТК компресуючим стрижнем

задовільних і незадовільних результатів після МОС ПТК компресуючим стрижнем.

Як свідчать дані цієї діаграми добрі віддалені результати після МОС ПТК компресуючим стрижнем були встановлені у $78,1 \pm 5,8\%$ пацієнтів (32 випадки), задовільні – у $19,5 \pm 2,4\%$ (8 випадків), незадовільні – у $2,4\%$ (1 випадок). При добрих результатах мала місце консолідація відламків ключиці, відновлення функцій верхньої кінцівки, пацієнти були реабілітовані у побуті, професійно і задоволені результатами лікування. Задовільні результати спостерігали серед пацієнтів як з функціональними порушеннями - неповне відновлення функцій верхньої кінцівки внаслідок порушення відновлювального періоду так і анатомічних - сповільненого зрощення ключиці (4 випадки), незадовільний результат мав місце у 1 ($2,4\%$) пацієнта, у якого через один рік після операції відсутнім було зрощення ключиці, як результат постійного порушення реабілітаційного режиму. Цьому пацієнту було виконано ревізійний МОС ПТК пластиною LCP з кістковою аутопластиком з благоприємним віддаленим результатом.



Обговорення.

В удосконаленій нами конструкції традиційного інтрамедулярного стрижня, для МОС ПТК типу 15 2АВ за класифікацією АО/ASIF, нами передбачена наявність свердла на одному з кінців стрижня, а на іншому - різьби з компресуючою гайкою [12]. Подібна конструкція стрижня полегшує і скорочує час хірургічного втручання у зв'язку з відсутністю необхідності у попередньому просвердлюванні кістково-мозкової порожнини ключиці, а також попереджає можливості міграції імплантату.

Як показали виконані нами біомеханічні дослідження компресуючий стрижень має переваги відносно традиційного інтрамедулярного стрижня (стрижень Богданова) в аспекті міцносних характеристик фіксації ПТК типу 15.2А,В при максимальному навантаженні, яке необхідно для деформації, руйнування імплантатів, а також створює більшу стабільність фрагментів ключиці при їх вигині, торсії. При порівнянні відмічених біомеханічних характеристик з контурованою пластиною LCP (за даними літератури), слід відмітити, що компресуючий стрижень за цими показниками конкурує або поступається останній [15].

Порівнюючи результати МОС дислокованих ПТК компресуючим стрижнем, як закритого малоінвазивного хірургічного втручання у порівнянні з пластинами LCP, слід відмітити, що при цьому відсутні можливості травматизації гілок надключичного нерву, м'яких тканин біля ключиці та її окістя. Також ми не спостерігали виникнення, типових ускладнень, які виникають при використанні пластини LCP: формування колоїдних рубців, повторні ПТК після видалення імплантатів.

Висновки.

1. Біомеханічні дослідження моделювання дислокованих переломів тіла ключиці ОТА 15 2АВ та їх остеосинтезу традиційним інтрамедулярним стрижнем (Богданова) та компресуючим стрижнем показали суттєві переваги останнього – такі показники як жорсткість імплантату на вигин, торсія, навантаження до деформації та руйнування були у 1,3 – 1,6 разів вищими



($p < 0,05$).

2. Після остеосинтезу дислокованих переломів тіла ключиці ОТА 15 2АВ компресуючим стрижнем серед пацієнтів добрі віддалені результати встановлено у $78,1 \pm 5,8\%$ випадків, задовільні – у $19,5 \pm 2,4\%$, назадовільними – у $2,4\%$. Відсутніми були типові ускладнення для остеосинтезу переломів тіла ключиці традиційними інтрамедулярними стрижнями - міграція або злам імпланту, а також пластинами LCP - келоїдні рубці, рефрактори ключиці після видалення імплантатів.

Література:

1. Kostecki B, Jurek A, Klocek K, Hajduk A, Mrozek Łukasz, Zwolski M, et al. Clavicle fractures - epidemiology, biomechanics of injury and treatment methods. J Educ Health Sport [Internet]. 2023 Sep. 5 [cited 2025 Jul. 28];14(1):216-32. <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/45534>
2. Sweet AAR, Beks RB, IJpma FFA, de Jong MB, Beeres FJP, Leenen LPH, Houwert RM, van Baal MCPM. Epidemiology of combined clavicle and rib fractures: a systematic review. Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Oct;48(5):3513-3520. doi: 10.1007/s00068-021-01701-4 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34075434/>
3. Youn, Seung-Min MBChB FRACSA; Kim, Jong Dae MD; Jeong, Ho Yeon MD; Ro, Kyunghan MD; Kim, Myung Seo MD; Rhee, Yong Girl MD; Rhee, Sung-Min MD. Antegrade Intramedullary Fixation for Clavicular Shaft Fracture: A Technical Trick. Journal of Orthopaedic Trauma 36(3):p e116-e121, March 2022. | DOI: 10.1097/BOT.0000000000002198 https://journals.lww.com/jorthotrauma/abstract/2022/03000/antegrade_intramedullary_fixation_for_clavicular.15.aspx
4. Malik SS, Tahir M, Remtulla M, Malik S, Jordan RW. A systematic review and meta-analysis comparing the use of hook plates and superior plates in the treatment of displaced distal clavicle fractures. Arch Orthop Trauma Surg. 2023 Jan;143(1):329-352. doi: 10.1007/s00402-021-04287-z. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34988674/> .
5. Hickland P, Goodland C, Zachariah S, E Murphy L, Neil M. Operative management of lateral third clavicle fractures: a comparison of internal fixation



methods. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2023 Jan;33(1):159-165. doi: 10.1007/s00590-021-03173-z. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34825989/>

6. Murray NJ, Johnson T, Packham IN, Crowther MAA, Chesser TJS. Reducing unnecessary fixation of midshaft clavicle fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2022 Oct;32(7):1319-1324. doi: 10.1007/s00590-021-03107-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34476617/>

7. Park JS, Ko SH, Hong TH, Ryu DJ, Kwon DG, Kim MK, Jeon YS. Plate fixation versus titanium elastic nailing in midshaft clavicle fractures based on fracture classifications. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2020 Sep-Dec;28(3) h.607-612:2309499020972204. doi: 10.1177/2309499020972204. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33258399/>

8. Ko SH, Kim MS. Comparison of supraclavicular nerve injuries after clavicle mid-shaft surgery via minimally invasive plate osteosynthesis versus open reduction and internal fixation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022 Aug;142(8):1895-1902. doi: 10.1007/s00402-021-03941-w. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33966101/>

9. Rüter, H., Radebold, T., Lehmann, W. *et al.* Versorgung von Klavikulaschaftfrakturen im Kindes- und Jugendalter. *Oper Orthop Traumatol* 37, 276–289 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00064-025-00902-z>

10. Zhao, Jing-Xin et al. Intramedullary nailing versus plating fixation for the treatment of midshaft clavicular fractures: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Injury*, Volume 54, S70 - S77 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.02.026> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020138322001152>

11. Zhang W, Chen J. Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) for displaced midshaft clavicle fractures in adolescents (12-18 Years): a study of early functional outcomes and safety. *J Orthop Surg Res*. 2025 May 24;20(1):507. doi: 10.1186/s13018-025-05923-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40410911/>

12. Стрижень для остеосинтезу переломів ключиці. Відомості про видачу патентів, <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1773413/> __29.11.2023, бюл. № 48/2023

13. Рушай А.К. Болевой синдром в практике травматолога – направления и



возможности лечения. *Український хіміотерапевтичний журнал*. 2012, №3 (26). 213-216 с. [http://www.ifp.kiev.ua/doc/journals/uhj/12/pdf12-3\(26\)/213.pdf](http://www.ifp.kiev.ua/doc/journals/uhj/12/pdf12-3(26)/213.pdf)

14. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*. 1996 Jun;29(6):602-8. doi: 10.1002/(SICI)1097-0274(199606)29:6<602::AID-AJIM4>3.0.CO;2-L. Erratum in: *Am J Ind Med* 1996 Sep;30(3):372. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8773720/>

15. Zdero, R., Brzozowski, P. & Schemitsch, E.H. Biomechanical Design Optimization of Clavicle Midshaft Fracture Plates: A Review. *J. Med. Biol. Eng.* 44, 307–316 (2024). <https://doi.org/10.1007/s40846-024-00875-7>

Abstract. *The accepted method of treatment for displaced clavicle fractures is surgical - various implants are used for osteosynthesis, with contoured LCP plates and intramedullary rods being preferred. When using the latter, typical complications may arise, such as migration, deformation with subsequent disruption of clavicle consolidation. The effectiveness of a compression rod for osteosynthesis of displaced clavicle fractures of the OTA 15.2AB type based on biomechanical and clinical studies. Biomechanical studies analyzed the results of computer experimental studies, as well as data from the finite element method. In the conditions of modeling osteosynthesis of clavicle fractures, the strength characteristics of the compressive rod were taken into account in comparison with the traditional intramedullary rod of Bogdanov. Clinical observations cover 43 patients aged 18-64 years with displaced clavicle fractures OTA 15.2AB who underwent osteosynthesis with a compression rod. Biomechanical studies of osteosynthesis modeling of displaced clavicle fractures OTA 15.2AB showed the advantages of a compression rod compared to the traditional Bogdanov intramedullary rod in terms of the maximum load required for deformation, implant destruction, as well as creating greater stability of clavicle osteosynthesis during its torsion and bending. Long-term results were moderate in 78.1±5.8% of cases, satisfactory in 19.5±2.4%, and unsatisfactory in 2.4%. Conclusions. The possibility of using closed osteosynthesis of displaced OTA 15.2AB fractures with a compression rod creates good conditions for reparative processes and prevents the development of typical complications of intramedullary osteosynthesis in the form of migration and deformation.*

Key words: *clavicle fractures, osteosynthesis, intramedullary rods.*

Науковий керівник:

д.мед.н., проф. Герцен Г.І.

статтю надіслано 19.11.2025р.