

EXPERIMENTAL AND CLINICAL STUDY OF THE METHOD OF FIXATION OF THE ACROMIAL END OF THE CLAVICLE ACCORDING TO WEBER IN CASE OF DAMAGE TO THE CLAVICULAR-ACROMIAL LIGAMENTS

¹Bogomolets National Medical University (Kyiv, Ukraine)

²State Institution "Sitenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine" (Kharkiv, Ukraine)

vlkvash@ukr.net

Dislocation of the acromial end of the clavicle is a common injury that most often occurs during sports activities. In the general population, its frequency is 3-4 cases per 100000 people. Most often, this injury is observed in young men (83.9%), with a peak incidence around the age of 30 (47.6%). The most common methods of stabilisation are the use of a hook plate, as well as Weber's or tension tape methods. The aim is to determine the causal relationships between the design characteristics of Weber's method of fixation of the acromial end of the clavicle and their shortcomings in cases of damage to the supraclavicular ligament complex. A mathematical and simulation model of fixation of the acromial end of the clavicle using Weber's method has been created. A retrospective analysis was conducted of the treatment outcomes in 31 patients diagnosed with combined injuries of the inferior and superior acromioclavicular ligaments between 2015 and 2023, followed by Weber fixation. A comparison of experimental and clinical data demonstrates their causal relationship. A significant increase in stress levels at the acromial end of the clavicle and the acromion (227.0 MPa and 451.0 MPa, respectively) causes their destruction. The "bone-pin" connection is lost, causing the fixation elements to migrate. The critical stress on the wire, which exceeds the strength limit of surgical steel by 1.5 times, explains the risk of its destruction.

The primary disadvantages of Weber's fixation of the acromial end of the clavicle include pin migration, damage to metal structures, and destruction of the acromion of the scapula and the acromial end of the clavicle, resulting in loss of stability and disruption of joint congruency. The results of experimental studies confirm these disadvantages: excessive stress on the specified anatomical structures contributes to their destruction, and critical stress on the wire, exceeding the strength limit of surgical steel, is a key factor in its damage.

Key words: acromioclavicular joint, static stabilizers, Weber fixation method.

Connection of the publication with planned research work.

The work was carried out within the framework of the research project "Develop and implement technologies for replacing bone defects in victims with combat trauma to the limbs", state registration number 0123u101089.

Introduction.

Dislocation of acromial end of the clavicle (AEC) is a common injury that occurs most often during sports activities, with an overall incidence of 3-4 cases per 100,000 in the general population. Dislocation usually occurs in young men (83.9%), around 30 years of age (47.6%). These injuries are usually the result of direct impact of the acromion on the clavicle during abduction of the upper extremity. Disruption of the normal anatomy and stability of the acromioclavicular joint (ACJ) can lead to dysfunction in the shoulder joint and chronic pain [1, 2].

The Rockwood classification is used to assess the severity of injuries [3]. According to this classification, types IV-VI injuries are treated surgically with the use of certain stabilizing structures [4].

In many cases, during the surgical treatment of AEC dislocations, there is a need to stabilize it. The most commonly used constructions are the hook plate and the Weber method or tension band wiring, each of which has its advantages and disadvantages. Weber's method, using two transarticular pins and a wire sling, is characterized by simplicity and speed of application, provides good functional results. The method allows to reduce

the volume of the AEC by reducing the distance between the AEC and the acromion, which creates optimal conditions for suturing damaged ligaments [5, 6].

However, when using Weber's method, there are such complications as: violation of the integrity of metal structures, their migration, formation of bone deficiency of the AEC and acromion [7].

The opposite opinion is that fixation of AEC dislocations using the tension band wiring method requires further study and deepening of knowledge, which will be the basis for choosing the optimal stabilizing structure and improve the treatment outcomes of patients in this category.

The aim of the study.

To determine the cause and effect relationships of the design characteristics of the Weber method of fixation of the acromial end of the clavicle and their disadvantages in case of damage to the supraclavicular ligament complex.

Object and research methods.

To ensure the experimental study, a simulation model of the Weber fixation method of AEC (**figure 1**), a natural finite element model of AEC (**figure 2**) and in case of damage to the lig. acromioclavicularis inferior and lig. acromioclavicularis superior with Weber fixation (**figure 3**) were built.

In the modeling, the material was assumed to be homogeneous and isotropic. A 10-node tetrahedron with quadratic approximation was chosen as a finite element. The mechanical properties of the materials were selected from the literature [8-12]. The characteristics



Figure 1 – Weber's simulation model of fixation of the acromial end of the clavicle.

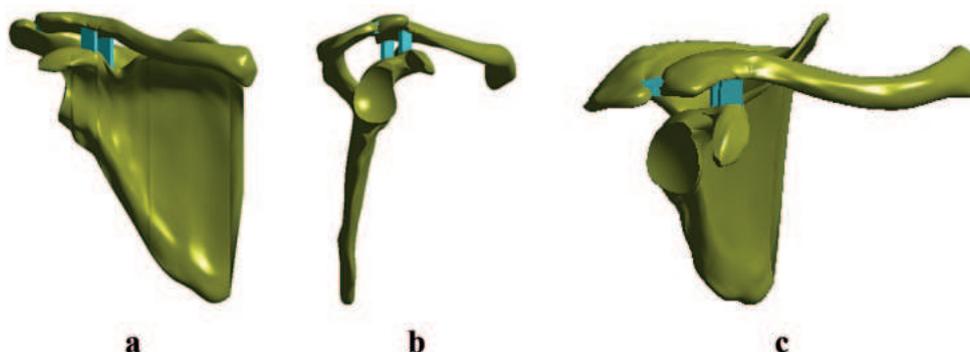


Figure 2 – Model of the humeral scapular articulation, where: a – frontal view; b – sagittal view; c – top view.

used (E – Young's modulus of elasticity, ν – Poisson's ratio) are given in **table 1**.

During the study, we modeled the loads acting on the AEC when the upper limb was abducted at an angle of 90° . Forces were applied to the models to simulate muscle action: middle deltoid muscle – 173.4 H, anterior deltoid muscle – 121.9 H, posterior deltoid muscle – 371,3 H, supraspinatus muscle – 190.7 H, subscapularis muscle – 1029.8 H, infraspinatus combined – 55.6 H.

To compare the stress values in the elements of the models with complete damage to the stabilizers of the clavicular-acromial complex, control points were selected (**figure 4, table 2**).

The maximum stress level was recorded in ligaments, bone elements, and metal structures. The model was built in SolidWorks.

The clinical material is based on a retrospective analysis of the treatment results of 31 patients from 2015 to 2023 who were diagnosed with a combined injury of the lig. acromioclavicular inferior and lig. acromioclavicular superior and Weber fixation.

Research results and their discussion.

The results of the anatomical and biomechanical study of three models of AEC (natural state, with damage to the supraclavicular ligamentous complex and with Weber fixation) are presented in **table 3**.

Thus, with the integrity of the static stabilizers, the elements of the ACJ model have different loads, the maximum of which are in the middle third of the clavicle, and the minimum level is in its sternal part. On the scapula, the most stressed are the edges of the notch, and the minimum is along its medial edge. Physiologically, the highest level of tension is deter-

mined on the lig. trapezoideum, the lowest on the lig. acromioclavicular superior

Complete damage to the acromioclavicular stabilizing complex leads to minimization of stresses on the acromion of the scapula and in the AEC area. A significant increase in the load (three times the normal value) is determined on the lig. conoideum, lig. trapezoideum, the coracoid process and the middle third of the clavicle.

In the model with Weber fixation, there is a significant increase in the level of stress on the AEC and acromion, but there is a critical stress on the wire (845.3 MPa), which exceeds the tensile strength of surgical steel.



Figure 3 – Final models for the study: combined damage to the ligamentum acromioclavicularis inferior and ligamentum acromioclavicularis superior and Weber fixation.

Table 1 – Mechanical characteristics of the materials used

Material.	Young's modulus of elasticity E , MPa	Coeff. Poisson, ν	Tensile strength, MPa
Cortical bone	18350,0	0,3	170,0
Spongy bone	1040,0	0,3	10,0
Connections	330,0	0,4	
Cartilage	5,58	0,44	
Surgical steel AISI 316L	200000	0,30	505,0

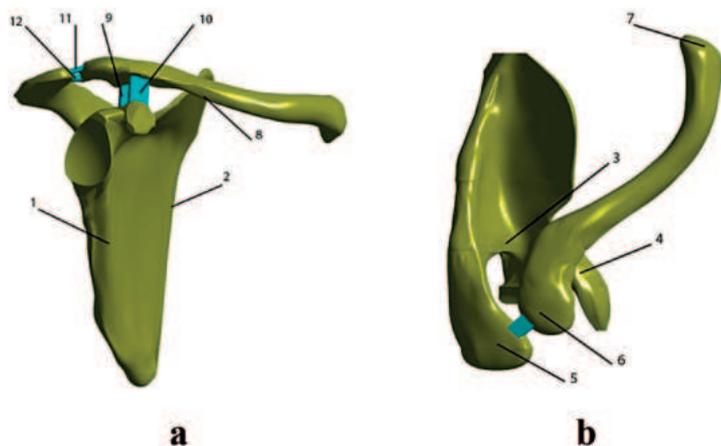


Figure 4 – Layout of control points: a – front view; b – top view.

Clinical examination revealed the most common deficiencies and complications in AEC fixation according to Weber: migration of pins - 12.3% of cases, violation of wire and pins integrity – 10.5%, destruction of the acromion of the scapula and AEC – 19.3% of cases.

When comparing experimental and clinical data, their cause-and-effect relationship can be traced. A significant increase in the level of stress on the AEC and acromion (227.0 MPa and 451.0 MPa, respectively) leads to the destruction of these anatomical structures, and as a result, the loss of the bone-stem connection, which further creates conditions for their migration, and the critical stress on the wire, which is 1.5 times higher than the tensile strength of surgical steel, explains the factors of its integrity.

Table 2 – Control points

Control points	Anatomical area	Model element
1	lateral border	scapula
2	medial border	
3	suprascapular notch	
4	coracoid process	
5	acromion	
6	acromial end	clavicle
7	sternal end	
8	body	
9	conoid (lig. conoideum)	ligaments
10	trapezoid (lig. trapezoideum)	
11	superior acromioclavicular (lig. acromioclaviculare superior)	
12	lig. acromioclaviculare inferior	

Table 3 – Results of studying the stress-strain state of the models

Anatomical element	Stress, MPa		
	The natural state of the ACJ	Damage to the supraspinatus-acromial ligamentous complex	Fixation by Weber
Middle part of the clavicle	81,8	120,0	
Acromial end of the clavicle	3,0	0,1	227,0
Edge of the suprascapular notch	32,5		
Medial border of the scapula	11,2		
Acromion		1,0	451,0
Coracoid process		81,7	
lig. conoideum	42,4	134,5	
lig. trapezoideum	50,6	147,0	
lig. acromioclaviculare superior	39,5		

There are some significant contradictions in the evaluation of the effectiveness of the Weber fixation method. Some researchers believe that this technique provides good results with few complications and should be considered as an effective method of treating acute AEC dislocation. Bifocal fixation restores multidirectional stability in the AEC, good functional outcome and ease of performance make this technique undemanding for use in regular practice [13-16].

However, Firat Ozan et al. reporting on the results of treatment in patients with traumatic fresh dislocation of the AEC type III according to the Rockwood classification, who were stabilized using the tension band technique, states that complete congruence in the AEC was achieved in 54.2% of patients, and subluxation was detected in 45.8% of cases. Distal clavicular osteolysis was noted in 25% of patients, and osteoarthritis of the AEC was detected in 20.8% of patients on control radiographs. During follow-up, wire migration and rupture occurred in 16.6% and 29.1% of patients, respectively [5].

The presented shortcomings are correlated and explained by the results of our own experimental study: in case of damage to the lig. acromioclaviculare superior at inferior, with Weber fixation, the stresses on the AEC and on the acromial process of the scapula increase several times, which can cause bone destruction in the area of contact with metal elements. The stresses in the wire itself can even exceed the tensile strength of surgical steel and, as a result, cause its rupture.

Destruction of bone tissue in the area of contact with metal elements that are passed through the articular surfaces is a significant factor in the development of osteoarthritis, and the violation of the integrity of metal structures leads to a loss of stability, which results in a violation of congruence in the acromial complex.

Violation of the integrity of metal structures leads to their migration, which can lead to severe complications in cases of their migration into the spinal canal and mediastinal organs [17-19].

Conclusions.

The most significant disadvantages of Weber fixation of the acromial end of the clavicle are: migration of pins, violation of the integrity of metal structures, destruction of the supracondylar process of the scapula and the acromial end of the clavicle, which leads to loss of stabilization and impaired congruence in the joint. These shortcomings are explained by the results of experimental studies: a significant increase in the level of stress on the acromial end of the clavicle and the supracondylar process, which leads to the destruction of these anatomical structures, and as a result, the loss of the bone-stem connection, which further creates conditions for their migration, and the critical stress on the wire, which ex-

ceeds the tensile strength of surgical steel, explains the violation of its integrity.

Prospects for further research.

It is planned to develop and study new means of fixing the acromial end of the clavicle in isolated and com-

bined injuries of the acromioclavicular and coracoclavicular ligaments.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-356-364

УДК 616.71-007.44:612.015.1

Кваша В. П., ¹Левицький А. Ф., ¹Чорний В. С., ¹Лиходій В. В., ²Карпінський М. Ю., ²Яресько О. В.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛІНІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ФІКСАЦІЇ АКРОМІАЛЬНОГО КІНЦЯ КЛЮЧИЦІ ЗА ВЕБЕРОМ ПРИ УШКОДЖЕННІ КЛЮЧИЧНО-АКРОМІАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗОК

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця (м. Київ, Україна)

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

vlkvash@ukr.net

Вивих акроміального кінця ключиці є поширеною травмою, що найчастіше трапляється під час занять спортом. У загальній популяції його частота становить 3-4 випадки на 100000 осіб. Найчастіше така травма спостерігається у молодих чоловіків (83,9%), переважно у віці близько 30 років (47,6%). Найбільш поширеними методами стабілізації є використання пластини типу hook plate, а також методи Weber'a або натяжної стрічки. Мета: визначити причинно-наслідкові зв'язки конструктивних характеристик способу фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером та їх недоліки при ушкодженні надплечово-ключичного зв'язкового комплексу. Створено математичну та імітаційну модель фіксації акроміального кінця ключиці за методом Вебера. Проведено ретроспективний аналіз результатів лікування 31 пацієнта, яким у період з 2015 по 2023 рік було діагностовано поєднане ушкодження lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior із подальшою фіксацією за Вебером. Порівняння експериментальних і клінічних даних демонструє їхній причинно-наслідковий зв'язок. Значне підвищення рівня напружень на акроміальному кінці ключиці та надплечовому відростку (227,0 МПа та 451,0 МПа відповідно) спричиняє їх руйнування. Відбувається втрата взаємозв'язку «кістка-шпиця», що викликає міграцію фіксуючих елементів. Критичне напруження на дроті, яке перевищує межу міцності хірургічної сталі у 1,5 рази, пояснює ризики його руйнування.

Основними недоліками фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером є міграція спиць, пошкодження металевих конструкцій, руйнування надплечового відростку лопатки та акроміального кінця ключиці, що призводить до втрати стабільності та порушення конгруентності суглоба. Результати експериментальних досліджень підтверджують ці недоліки: надмірне навантаження на вказані анатомічні структури сприяє їх руйнуванню, а критичне напруження на дроті, що перевищує межу міцності хірургічної сталі, є ключовим фактором його пошкодження.

Ключові слова: надплечово-ключичний суглоб, статичні стабілізатори, спосіб фіксації за Вебером.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана в рамках НДР «Розробити та впровадити технології заміщення кісткових дефектів у постраждалих з бойовою травмою кінцівок», номер державної реєстрації 0123u101089.

Вступ.

Вивих акроміального кінця ключиці (АКК) є поширеною травмою, яка найчастіше зустрічається під час спортивних занять, із загальною частотою 3-4 випадків на 100000 у загальній популяції. Вивих зазвичай виникає у молодих чоловіків (83,9%), близько 30 років (47,6%). Ці пошкодження зазвичай є результатом прямого впливу акроміону на ключицю при відведенні верхньої кінцівки. Порушення нормальної анатомії та стабільності надплечово-ключичного суглоба (НКС) може призвести до порушення функції в плечовому суглобі та хронічного болю [1, 2].

Для оцінки важкості пошкоджень використовується класифікація Rockwood [3]. IV-VI тип пошкоджень за даною класифікацією лікуються оперативно з ви-

користанням тих чи інших стабілізуючих конструкцій [4].

В багатьох випадках при оперативному лікуванні вивихів АКК виникає потреба в його стабілізації. Найбільш вживаними конструкціям є hook plate та спосіб Weber'a або tension band wiring (натяжна стрічка), кожна з яких має свої переваги та недоліки. Спосіб Weber'a, з використанням двох трансартикулярних спиць та дротяного серкляжу, характеризується простотою та швидкістю застосування, забезпечує хороші функціональні результати. Спосіб дозволяє зменшити об'єм НКС, шляхом зменшення відстані між АКК та надплечовим відростком, що створює оптимальні умови для ушивання пошкоджених зв'язок [5, 6].

Однак, при застосуванні способу Вебера зустрічаються такі ускладнення як: порушення цілісності металевих конструкцій, їх міграція, утворення дефіциту кісткової тканини АКК та надплечового відростку [7].

Протилежність думок, що до фіксації вивихів АКК за способом tension band wiring потребують подальшого вивчення та поглиблення знань, що стане підґрунтям для вибору оптимальної стабілізуючої кон-

струкції та покращить результати лікування пацієнтів даної категорії.

Мета дослідження.

Визначити причинно-наслідкові зв'язки конструктивних характеристик способу фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером та їх недоліки при ушкодженні надплечово-ключичного зв'язкового комплексу.

Об'єкт і методи дослідження.

Для забезпечення експериментального дослідження була побудована імітаційна модель способу фіксації АКК за Вебером (рис. 1), природня скінчено-елементна модель КАС (рисунок 2) та при пошкодженні

мацією. Механічні властивості матеріалів відібрано з джерел літератури [8-12]. Використані характеристики (E – модуль пружності Юнга, ν – коефіцієнт Пуассона) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні характеристики використаних матеріалів

Матеріал	Модуль пружності Юнга E , МПа	Коеф. Пуассона, ν	Межа міцності, МПа
Кортикальна кістка	18350,0	0,3	170,0
Губчаста кістка	1040,0	0,3	10,0
Зв'язки	330,0	0,4	
Хрящ	5,58	0,44	
Хірургічна сталь AISI 316L	200000	0,30	505,0

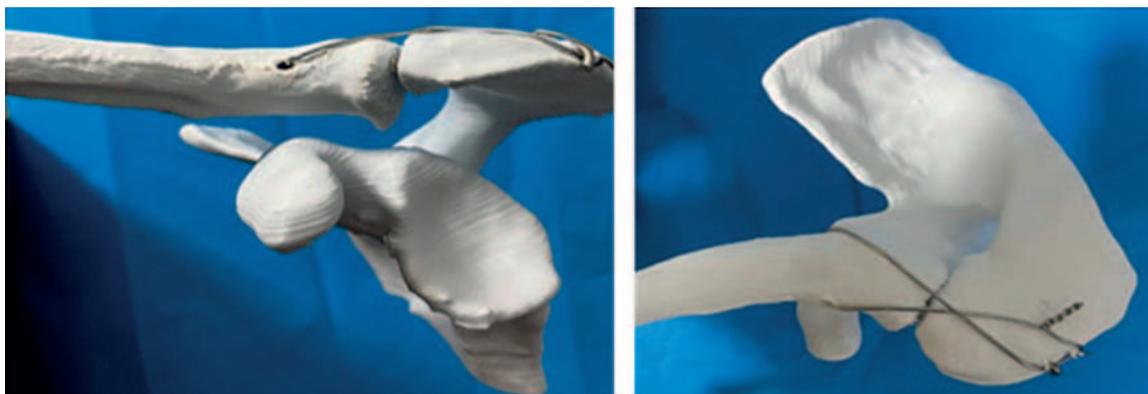


Рисунок 1 – Імітаційна модель фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером.

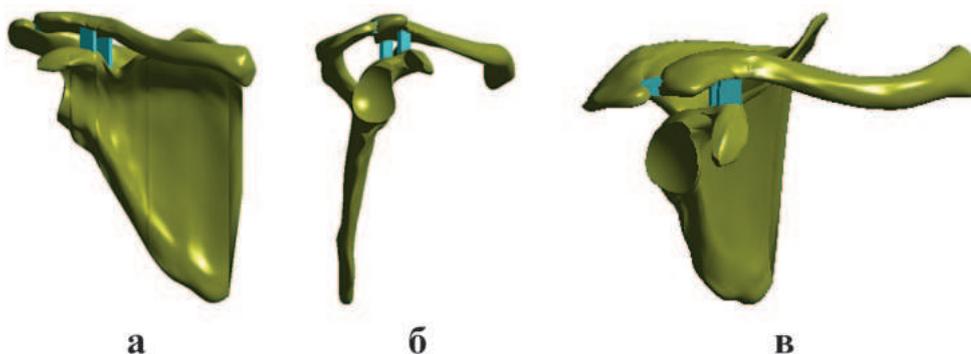


Рисунок 2 – Модель плече-лопаткового зчленування, де: а – вид у фронтальній площині; б – сагітальній; в – вид зверху.

lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior з фіксацією за Вебером (рисунок 3).

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. В якості скінченого елемента був обраний 10-вузловий тетраедр з квадратичною апрокси-

При проведенні дослідження моделювали навантаження, які діють на НКС при відведенні верхньої кінцівки на кут 90° . До моделей прикладали сили, які імітували дію м'язів: середня порція дельтовидного м'язу (middle deltoid) – 173,4 Н, передня порція дельтовидного м'язу (anterior deltoid) – 121,9 Н, задня порція дельтовидного м'язу (posterior deltoid) – 371,3 Н, надостистий м'яз (supraspinatus) – 190,7 Н, підлопатковий м'яз (subscapularis) – 1029,8 Н, підостистий м'яз (infraspinatus combined) – 55,6 Н.

Для порівняння величин напружень в елементах моделей з повним ушкодженням стабілізаторів ключично-акроміального комплексу були обрані контрольні точки (рисунок 4 і таблиця 2).

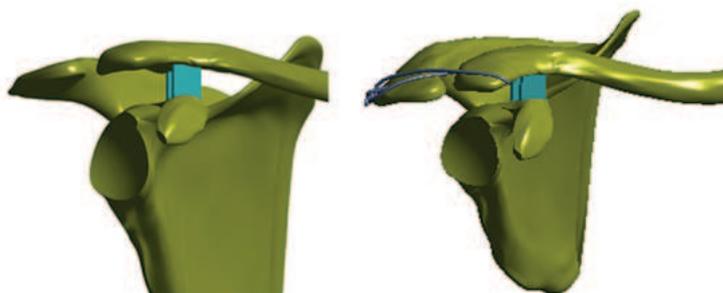


Рисунок 3 – Кінцеві моделі для дослідження: поєднане ушкодження lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior та фіксація за Вебером.

Максимальний рівень напружень реєстрували в зв'язках, кісткових елементах та на металевих конструкціях. Побудову моделі здійснювали в програмі SolidWorks.

Клінічний матеріал базується на ретроспективному аналізі результатів лікування 31 пацієнта за період з 2015 по 2023 роки, у яких було діагностовано поєднане ушкодження lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior та фіксація за Вебером.

Результати дослідження та їх обговорення.

Результати анатомо-біомеханічного дослідження трьох моделей НКС (природній стан, при пошкодженні надплечово-ключичного зв'язкового комплексу та при фіксації за Вебером) представлені в таблиці 3.

Таким чином, при цілісності статичних стабілізаторів, елементи моделі НКС, мають різні навантаження, максимальні з яких припадають на середню третину ключиці, а мінімальний рівень – на її грудинну частину. На лопатці найбільш напруженим є край виїмки, мінімальні – по її медіальному краю. Фізіологічно, найбільший рівень напружень визначається на lig. trapezoideum, найнижчий на lig. acromioclaviculare superior.

Повне пошкодження надплечово-ключичного стабілізуючого комплексу призводить до мінімізації напружень на надплечовому відростку лопатки та в ділянці АКК. Суттєве збільшення навантаження (в три рази по відношенню до норми) визначається на lig. conoideum, lig. trapezoideum дзьобоподібному відростку та середній третині ключиці.

В моделі з фіксацією за Вебером виникає значне підвищення рівня напружень на АКК та надплечовому відростку, однак виникає критичне напруження на дроті (845,3 МПа), що перевищує межу міцності хірургічної сталі.

При клінічному обстеженні були встановлені найбільш часті недоліки та ускладнення при фіксації АКК за Вебером: міграція шпичь – 12,3% випадків, порушення цілісності дроту та шпичь – 10,5%, руйнація надплечового відростку лопатки та АКК – 19,3% випадків.

При співставленні експериментальних і клінічних даних прослідковується їх причинно-наслідковий зв'язок. Значне підвищення рівня напружень на АКК та надплечовому відростку (227,0 МПа та 451,0 МПа відповідно) призводить до руйнації цих анатомічних структур, і як наслідок, втрата взаємозв'язку «кістка-шпичь», що в подальшому створює умови для їх міграції, а критичне напруження на дроті, яке в 1,5 рази перевищує межу міцності хірургічної сталі пояснює чинники порушення його цілісності.

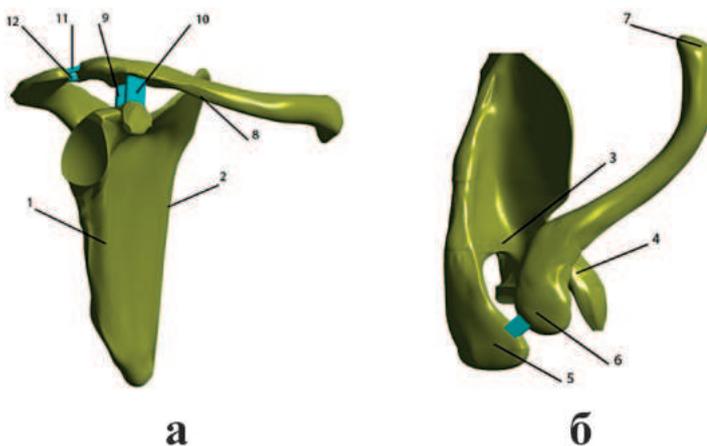


Рисунок 4 – Схема розташування контрольних точок: а – вид спереду; б – вид зверху.

Оцінка ефективності способу фіксації за Вебером має певні суттєві протиріччя. Одні дослідники вважають, що ця методика забезпечує хороші результати з невеликою кількістю ускладнень і її слід розглядати як ефективний метод лікування гострого вивиху АКК. Біфокальна фіксація відновлює різноспрямовану стабільність в АКК, хороший функціональний результат і простота виконання роблять цю методику невимовливою для використання в постійній практиці [13-16].

Однак, Firat Ozan at al. повідомляючи про результати лікування у пацієнтів із травматичним свіжим вивихом АКК типу III згідно з класифікацією Роквуда, яким проводилась стабілізація за способом техніки

Таблиця 2 – Контрольні точки

Контрольні точки	Анатомічна ділянка	Елемент моделі
1	латеральний край	лопатка
2	медіальний край	
3	виїмка лопатки	
4	дзьобоподібний відросток	
5	акроміальний відросток	ключиця
6	акроміальний кінець	
7	грудинний кінець	зв'язки
8	тіло	
9	конічна (lig. conoideum)	
10	трапецеєподібна (lig. trapezoideum)	
11	верхня надплечово-ключична (lig. acromioclaviculare superior)	зв'язки
12	lig. acromioclaviculare inferior	

Таблиця 3 – Результати дослідження напружено-деформованого стану моделей

Анатомічний елемент	Напруження, МПа		
	Природний стан НКС	Пошкодження надплечово-акроміального зв'язкового комплексу	Фіксація за Вебером
Середня частина ключиці	81,8	120,0	
Акроміальний кінець ключиці	3,0	0,1	227,0
Край виїмки лопатки	32,5		
Медіальний край лопатки	11,2		
Надплечовий відросток		1,0	451,0
Дзьобоподібний відросток		81,7	
lig. conoideum	42,4	134,5	
lig. trapezoideum	50,6	147,0	
lig. acromioclaviculare superior	39,5		

натяжної стрічки, констатує, що повна конгруентність в АКС була досягнута у 54,2% пацієнтів, а підвищих виявлено у 45,8% випадках. У 25% хворих відмічено дистальний остеоліз ключиці, у 20,8% оперованих на контрольних рентгенограмах виявлено остеоартроз АКС. Під час подальшого спостереження міграція та розрив дроту відбулися у 16,6% та 29,1% пацієнтів відповідно [5].

Представлені недоліки, корелюються і пояснюються власними результатами проведеного експериментального дослідження: при ушкодженні lig. acromioclaviculare superior at inferior, при фіксації за Вебером, напруження на АКК та на акроміальному відростку лопатки збільшуються в декілька разів, що може бути причиною руйнування кісткової тканини в зоні контакту з металевими елементами. Напруження в самому дроті навіть можуть перевищувати межу міцності хірургічної сталі і, як наслідок, стати причиною його розриву.

Руйнування кісткової тканини в зоні контакту з металевими елементами, які проведені через суглобові поверхні є вагомим чинником для розвитку остеоартрозу, а порушення цілісності металевих конструкцій призводить до втрати стабільності, наслідком якої є порушення конгруентності в КАС.

Порушення цілісності металевих конструкцій призводить до їх міграції, що може призвести до важких ускладнень в випадках їх міграції в спино-мозковий канал та органи середостіння [17-19].

Висновки.

Найбільш вагомими недоліками при фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером є: міграція шпиль, порушення цілісності металевих конструкцій, руйнація надплечового відростку лопатки та акроміального кінця ключиці, що призводить до втрати стабілізації та порушення конгруентності в суглобі. Дані недоліки пояснюються результатами експериментальних досліджень: суттєвим підвищенням рівня напружень на акроміального кінця ключиці та надплечовому відростку, яке призводить до руйнації цих анатомічних структур, і як наслідок, втрата взаємозв'язку «кістка-шпиль», що в подальшому створює умови для їх міграції, а критичне напруження на дроті, яке перевищує межу міцності хірургічної сталі пояснює порушення його цілісності.

Перспективи подальших досліджень.

Планується розробка та дослідження нових засобів фіксації акроміального кінця ключиці при окремих та поєднаних ушкодженнях акроміально-ключичних та дзьобо-ключичних зв'язок.

References / Література

- Boufadel P, Fares MY, Daher M, Lopez R, Khan A, Abboud J. Epidemiology of acromioclavicular joint separations presenting to emergency departments in the United States between 2004 and 2023. *Shoulder & Elbow*. 2025. DOI: [10.1177/17585732251320015](https://doi.org/10.1177/17585732251320015).
- Buyanov OA, Kvasha VP, Chekushyn DA, Naumenko VO. Analiz viddalenykh rezul'tativ operatyvnoho likuvannya vyvykhiv akromial'noho kintsya klyuchytsi. *TRAVMA*. 2021;22(6):4-9. DOI: [10.22141/1608-1706](https://doi.org/10.22141/1608-1706). [in Ukrainian].
- Rockwood CA, Green DP, eds. *Fractures in adults*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott; 1984. Chapter, Subluxations and dislocations about the shoulder; p. 34-39.
- Nolte P, Lacheta L, Dekker T, Elrick B, Millet P. Optimal Management of Acromioclavicular Dislocation: Current Perspectives. *Orthop Res Rev*. 2020;12:27-44. DOI: [10.2147/ORR.S218991](https://doi.org/10.2147/ORR.S218991).
- Ozan F, Gök S, Okur KT, Altun I, Kahraman M, Günay A, et al. Midterm Results of Tension Band Wiring Technique for Acute Rockwood Type III Acromioclavicular Joint Dislocation. *Cureus*. 2020;12(12):12203. DOI: [10.7759/cureus.12203](https://doi.org/10.7759/cureus.12203).
- Pan X, Lv RY, Lv MG, Zhang DG. TightRope vs Clavicular Hook Plate for Rockwood III-V Acromioclavicular Dislocations: A Meta-Analysis. *Orthop Surg*. 2020;12(4):1045-1052. DOI: [10.1111/os.12724](https://doi.org/10.1111/os.12724).
- Fosser M, Camporese A. Operative treatment of acute acromioclavicular joint dislocations graded Rockwood III-V: a retrospective and comparative study between three different surgical techniques. *Acta Biomed*. 2021;92(5):e2021325. DOI: [10.23750/abm.v92i5.10678](https://doi.org/10.23750/abm.v92i5.10678).
- Cowin SC. *Bone Mechanics Handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2001. 980 s.
- Klika V, editor. *Theoretical Biomechanics*. Prague: IntechOpen; 2011. Chapter, Mechanobiology of Fracture Healing: Basic Principles and Applications in Orthodontics and Orthopaedics; p. 21-48. DOI: [10.5772/19420](https://doi.org/10.5772/19420).
- Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2008;1(1):30-42. DOI: [10.1016/j.jmbbm.2007.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2007.07.001).
- Woo SL, Abramowitch SD, Kilger R, Liang R. Biomechanics of knee ligaments: injury, healing, and repair. *Journal of Biomechanics*. 2006;39:1-20. DOI: [10.1016/j.jbiomech.2004.10.025](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.025).
- Karpinskyi MYu, Yaresko OV, Pavlenko KV, Topor VP, Uvarova OB, Popov OI. Matematychno modelyuvannya variantiv osteosyntezy klyuchytsi za yiyi perelomiv u seredniy tretyni. *Ortopediya, travmatolohiya u protezyrovanye*. 2014;4:5-13. DOI: [10.15674/0030-5987201445-13](https://doi.org/10.15674/0030-5987201445-13). [in Ukrainian].
- Sunil S, Venkatesh V. Management of type 2 & type 3 acromio-clavicular joint injuries by principles of tension band wiring. *Indian Journal of Orthopaedics Surgery*. 2020;6(3):175-181. DOI: [10.18231/ij.ijos.2020.034](https://doi.org/10.18231/ij.ijos.2020.034).
- Bigoni M, Piatti M, Zanchi N, Gorla M, Gaddi D, Rigamonti L, et al. Clinical effectiveness of surgical treatment with polyester tapes and temporary K-wires on complete acromioclavicular dislocation. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2019;29(3):567-573. DOI: [10.1007/s00590-018-2321-9](https://doi.org/10.1007/s00590-018-2321-9).
- De Rooij PP, Van Lieshout EMM, Schurink IJ, Verhofstad M, ACJ injury study group. Current practice in the management of acromioclavicular joint dislocations; a national survey in the Netherlands. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2021;47(5):1417-27. DOI: [10.1007/s00068-020-01414-0](https://doi.org/10.1007/s00068-020-01414-0).
- Vijayan S, Kulkarni MS, Jain CP, Shetty S, Aroor MN, Rao SK. Bifocal Stabilisation of Acute Acromioclavicular Joint Dislocation using Suture Anchor and Temporary K-Wires: A Retrospective Analysis. *Malays Orthop J*. 2022;16(3):104-112. DOI: [10.5704/MOJ.2211.016](https://doi.org/10.5704/MOJ.2211.016).
- Sadat-Ali M, Shehri AM, AlHassan MA, AlTabash K, Mohamed FAM, Aboutaleb MM, et al. Broken Kirschner Wires Can Migrate: A Case Report and Review of Literature. *J Orthop Case Rep*. 2020 Dec;10(9):11-14. DOI: [10.13107/jocr.2020.v10.i09.1884](https://doi.org/10.13107/jocr.2020.v10.i09.1884).
- Furuhata R, Nishida M, Morishita M, Yanagimoto S, Tezuka M, Okada E. Migration of a Kirschner wire into the spinal cord: A case report and literature review. *J Spinal Cord Med*. 2020;43(2):272-275. DOI: [10.1080/10790268.2017.1419915](https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1419915).
- Méndez-Daza CH, Obando-Guerrero H, Zuluaga-Álvarez M, Ángel-Escobar IC. Migración intratorácica de clavo Kirschner desde clavícula distal: Presentación de caso y manejo Intrathoracic migration of Kirschner nail from distal clavicle: Case report and management. *Revista Colombiana de Cirugía* 2024;40:610-616. DOI: [10.30944/20117582.2573](https://doi.org/10.30944/20117582.2573).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛІНІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ФІКСАЦІЇ АКРОМІАЛЬНОГО КІНЦЯ КЛЮЧИЦІ ЗА ВЕБЕРОМ ПРИ УШКОДЖЕННІ КЛЮЧИЧНО-АКРОМІАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗОК

Кваша В. П., Левицький А. Ф., Чорний В. С., Лиходій В. В., Карпінський М. Ю., Яресько О. В.

Резюме. Вивих акроміального кінця ключиці (АКК) є поширеною травмою, яка найчастіше зустрічається під час спортивних занять, із загальною частотою 3-4 випадків на 100000 у загальній популяції. Вивих зазви-

чай виникає у молодих чоловіків (83,9%), близько 30 років (47,6%). В багатьох випадках при оперативному лікуванні вивихів АКК виникає потреба в його стабілізації. Найбільш вживаними конструкціям є hook plate та спосіб Weber'a або tension band wiring (натяжна стрічка), кожна з яких має свої переваги та недоліки.

Мета дослідження. Визначити причинно-наслідкові зв'язки конструктивних характеристик способу фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером та їх недоліки при ушкодженні надплечово-ключичного зв'язкового комплексу.

Об'єкт і методи дослідження. В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України» була побудована скінчено-елементна модель КАС та імітаційна модель фіксації за способом Вебера. Клінічний матеріал базується на ретроспективному аналізі результатів лікування 31 пацієнта за період з 2015 по 2023 роки, у яких було діагностовано поєднане ушкодження lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior та фіксація за Вебером.

Результати. При співставленні експериментальних і клінічних даних прослідковується їх причинно-наслідковий зв'язок. Значне підвищення рівня напружень на акроміальному кінці ключиці та надплечовому відростку (227,0 МПа та 451,0 МПа відповідно) призводить до руйнації цих анатомічних структур, і як наслідок, втрата взаємозв'язку «кістка-шпица», що в подальшому створює умови для їх міграції, а критичне напруження на дроті, яке в 1,5 рази перевищує межу міцності хірургічної сталі пояснює чинники порушення його цілісності.

Висновки. Найбільш вагомими недоліками при фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером є: міграція спиць, порушення цілісності металевих конструкцій, руйнація надплечового відростку лопатки та акроміального кінця ключиці, що призводить до втрати стабілізації та порушення конгруентності в суглобі. Дані недоліки пояснюються результатами експериментальних досліджень: суттєвим підвищенням рівня напружень на цих анатомічних структурах, що призводить до їх руйнації, а критичне напруження на дроті, яке перевищує межу міцності хірургічної сталі пояснює порушення його цілісності.

Ключові слова: надплечово-ключичний суглоб, статичні стабілізатори, спосіб фіксації за Вебером.

EXPERIMENTAL AND CLINICAL STUDY OF THE METHOD OF FIXATION OF THE ACROMIAL END OF THE CLAVICLE ACCORDING TO WEBER IN CASE OF DAMAGE TO THE CLAVICULAR-ACROMIAL LIGAMENTS

Kvasha V. P., Levytskyi A. F., Chornyi V. S., Lykhodii V. V., Karpinsky M. Yu., Yaresko O. V.

Abstract. Acromioclavicular joint dislocation (ACD) is a common injury that most often occurs during sports activities, with an overall incidence of 3-4 cases per 100,000 in the general population. The dislocation usually occurs in young men (83.9%), around 30 years of age (47.6%). In many cases, during the surgical treatment of dislocations of the ACJ, there is a need for its stabilization. The most commonly used constructions are the hook plate and the Weber method or tension band wiring, each of which has its own advantages and disadvantages.

The aim of the study. To determine the cause-and-effect relationships of the design characteristics of the Weber method of fixing the acromial end of the clavicle and its disadvantages in cases of damage to the supraclavicular ligament complex.

Object and research methods. In the laboratory of biomechanics of the State Institution «Institute of Spine and Joint Pathology named after Prof. M.I.Sytenko of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», a finite element model of the CAS and a simulation model of fixation using the Weber method were built. The clinical material is based on a retrospective analysis of the treatment results of 31 patients from 2015 to 2023, who were diagnosed with combined damage to the inferior acromioclavicular ligament and superior acromioclavicular ligament and Weber fixation.

Results. When comparing experimental and clinical data, their cause-and-effect relationship is traced. A significant increase in the level of stresses at the acromial end of the clavicle and the suprahumeral condyle (227.0 MPa and 451.0 MPa, respectively) leads to the destruction of these anatomical structures, and as a result, the loss of the «bone-pin» connection, which subsequently creates conditions for their migration, and the critical stress on the wire, which is 1.5 times higher than the tensile strength of surgical steel, explains the factors that disrupt its integrity.

Conclusions. The most significant disadvantages of Weber's fixation of the acromial end of the clavicle are migration of the spikes, disruption of the integrity of the metal structures, destruction of the suprahumeral condyle of the scapula and the acromial end of the clavicle, which leads to loss of stabilization and disruption of congruence in the joint. These shortcomings are explained by the results of experimental studies: a significant increase in the level of stress on these anatomical structures, which leads to their destruction, and the critical stress on the wire, which exceeds the strength limit of surgical steel, explains the violation of its integrity.

Key words: acromioclavicular joint, static stabilizers, Weber fixation method.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Kvasha V. P.: <https://orcid.org/0000-0002-7444-6289>^F

Levytskyi A. F.: <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>^A

Chornyi V. S.: <https://orcid.org/0000-0002-3679-0783>^B

Lykhodii V. V.: <https://orcid.org/0000-0002-8125-0225>^E

Karpinsky M. Yu.: <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>^D

Yaresko O. V.: <https://orcid.org/0000-0002-2037-5964>^B

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Kvasha Volodymyr Petrovych / Кваша Володимир Петрович
Bogomolets National Medical University / Національний медичний університет імені О.О. Богомольця
Ukraine, 01601, Kyiv, 13 Tarasa Shevchenka Boulevard / Адреса: Україна, 01601, м. Київ, бульвар Тараса Шевченка 13
Tel.: 0503816557 / Тел.: 0503816557
E-mail: vlkvash@ukr.net

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 02.02.2025 / Стаття надійшла 02.02.2025 року
Accepted 01.05.2025 / Стаття прийнята до друку 01.05.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-364-375

UDC 616.314 – 089 + 616.716.86 + 611.018.4 + 616.314 – 77

¹Soldatyuk V. M., ¹Pelekhan B. L., ¹Rozhko S. M., ²Davydenko V. Yu.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MODERN METHODS FOR SURGICAL PREPARATION OF PATIENTS PRIOR TO PROSTHETIC DENTAL TREATMENT

¹Ivano-Frankivsk National Medical University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

²Poltava State Medical University (Poltava, Ukraine)

v.davydenko@pdmu.edu.ua

The article is relevant to the clinic of prosthetic dentistry, as it focuses on the development of instruments and methods for the surgical preparation of prosthetic bed tissues and the correction of detected metabolic disorders through medical intervention during the preparation and implementation of prosthetic dental treatment.

The article describes the improved modern methods of surgical preparation and medical correction in patients with pathological changes in the bone tissue of the collar process and its part before orthopedic treatment. The importance of modern advanced surgical preparation and medical correction on the state of bone tissue is taken into account, which is important in the preparation of an orthopedic dental treatment plan and significantly affects the choice of denture design in order to preserve abutment teeth and bone tissue, to achieve positive results in the long term of use of fixed bridges.

Key words: orthopedic treatment, surgical preparation, bone tissue, bone regeneration, prosthetic bed.

Connection of the publication with planned research works.

The article was performed within the framework of the research work of the Department of Dentistry of the Educational and Research Institute of Postgraduate Education of Ivano-Frankivsk National Medical University “Modern technologies of jaw bone tissue restoration in chronic inflammatory processes in peacetime and wartime”, state registration number 0124U001872 and the Department of Postgraduate Education of Dentists and Orthopedists of Poltava State Medical University “Individual approach to rehabilitation of patients with pathology of the dentoalveolar system”, state registration number 0122U002533.

Introduction.

In recent years, against the backdrop of deteriorating socio-economic and environmental conditions due to military operations, Ukraine has seen an increase in various diseases, including dental diseases. According to research by some scientists, 34-36% of the Ukrainian population aged 35-45 years requires various types of dental care, and in some regions, such as the western regions, this figure is even higher [1, 2]. In the vast majority of world countries, the need for orthopaedic dental treatment has significantly increased due to deteriorating dental health, and the rate reaches about 50% among the adult population, while the results of studies

of this need in Ukraine indicate that the figures range from 75-80% [1, 2, 3].

It is an indisputable axiom that dental health is adversely affected by a number of factors: changes in climatic conditions, the external environment, especially air, water and food pollution; deterioration of mental health, etc. Against the background of the above, tooth loss is significantly accelerated, and pathological changes in the patient's body and in the dentition, in particular those that occur after tooth extraction, contribute to deformities, atrophy of the alveolar processes of the jaws and their cellular part, which not only affects the timing but also significantly complicates orthopaedic treatment [4].

It has been proven that the quality and effectiveness of prosthetic dental treatment, especially in the long term, is influenced not only by a rational approach to the choice of denture design but also by the condition of the prosthetic bed tissue. Therefore, in orthopedic dentistry, a number of studies have been devoted to the peculiarities of restoring dentition defects using teeth that have pathological changes with significant bone atrophy as a support [5]. In turn, this issue has not only retained its relevance but has also attracted increasing interest among scientists in Ukraine and abroad over the past few decades [6, 7, 8, 9]. The analysis of the literature shows that considerable attention has been paid to the