



**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЛАМАНОЇ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ ПІСЛЯ
МЕТАЛООСТЕОСИНТЕЗУ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОННОЇ
ДИСПЕРСІЙНОЇ ТА СКАНУЮЧОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ**

Бойко І.В.¹, Зафт В.Б.¹, Лазаренко Г.О.¹, Алексєєва Т.А.², Литвин П.М.³

¹ДНУ « Науково-практичний центр профілактичної та клінічної медицини»

Державного управління справами, м. Київ

² *Інститут хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН України, м. Київ*

³ *Інститут фізики напівпровідників (ІФН) імені В.Є. Лашкарьова НАН України,
м. Київ*

**ANALYSIS OF THE BROKEN METAL AFTER OSTEOSYNTHESIS
BY E-DISPERSION AND SCANING SPECTROSCOPY**

Boiko I.V., Zaft V.B., Lazarenko G.O., Alekseyeva T.A., Lytvyn P.M.

Вступ. Сучасні хірургічні оперативні втручання в ортопедії та травматології пов'язані з використанням металоконструкцій. Основа, з яких вони побудовані, - це різноманітні метали та сплави. Усі представлені в сучасній травматології якісні фіксатори можна класифікувати, використовуючи наступні критерії: функція, яку виконує даний фіксатор; дизайн (форма) пластин і гвинтів; матеріал, з якого виготовлена пластина і гвинт. Різноманітність металоконструкцій та сплавів, з яких вони виготовляються, надає ортопеду право вибору імпланту для конкретного випадку. Для виготовлення якісних фіксаторів частіше за все використовують такі матеріали: хімічно чистий титан (Ti, BT0), його сплави, такі як Ti6Al7Nb, нержавіюча сталь (316 L stainless steel). Вибір саме цих металів та сплавів обумовлений результатом випробувань, проведених за наступними параметрами: вивчення впливу імпланту на організм пацієнта, залежність міцності імпланту та його властивість до зворотної деформації [1-6].

На сьогоднішній день у літературі зустрічаються описи випадків переломів або дефектів металоконструкцій. Але саме

Entry. Modern surgical procedures in orthopaedics and traumatology are associated with steel structures. Basis for production thereof is a variety of metals and alloys. All bone fixation devices applied in modern traumatology can be classified using the following criteria: the function performed by the locking device; design (form) of plates and screws; material of plate and screw. Wide range of metal devices and alloys for production thereof provides the surgeon with possibility to choose correct implant for each certain case. To produce bone fixators mostly the following materials are applied: chemically pure titanium (Ti, BT0), alloys thereof like Ti6Al7Nb, stainless steel (316 L stainless steel). These material and alloys are chosen for the results of testing thereof according to the following parameters: influence of an implant on human body, dependant of strength thereof and its ability to initial distortion [1-6].

Literature nowadays describes the cases of breaks or defects of metal construction, and these events are the cause of many troubles not only for doctors, but also for their patients.

ці явища є причиною багатьох проблем як для лікарів, так і для пацієнтів.

Мета дослідження : Аналіз зламаних металокопункцій за допомогою методу електронної дисперсійної спектроскопії.

Матеріали та методи. Нами було проаналізовано 4 випадки перелому металокопункцій, що встановлені на нижніх кінцівках, шляхом проведення клінічного, рентгенологічного досліджень та методом електронної дисперсійної спектроскопії (ЕДС) на скануючому електронному мікроскопі.

Оперативне втручання: резекція несправжнього суглоба нижньої третини лівої великогомілкової кістки, стабільно-функціональний остеометалосинтез блокуючою пластиною з мінімальним контактом з кісткою, кісткова аутопластика.

Встановлена блокуюча латеральна пластина з мінімальним контактом з кісткою АО 3,5 мм х 230 мм з 13 отворами, по зовнішній поверхні великогомілкової кістки, яка зафіксована 3 кортикальними та 9 блокуючими гвинтами. Встановлено металокопункцію зі сплаву аналогічного вітчизняному BT1-0 та кортикальні гвинти зі сплаву, що відповідають за складом титановому BT-6. Через 3 місяці хвора звернулася повторно, встановлено діагноз: загострення хронічного остеомиєліту після надкісткового остеосинтезу пластиною з несправжнім суглобом нижньої третини лівої великогомілкової кістки. Перелом металокопункції (рис.2).

Проведено повторне оперативне втручання: видалення металокопункції, черезкістковий остеосинтез несправжнього суглоба нижньої третини лівої великогомілкової кістки за Ілізаровим.

№1 Хвора С.

Діагноз: хибний суглоб нижньої третини

Aim of the study: To analyse broken metal constructions using the method of electronic disperse spectroscopy.

Materials and methods: We have analysed 4 cases of broken metal constructions implanted into lower limbs by clinical and X-Ray examination and electronic disperse spectroscopy (EDS) using scanning electronic microscope.

Surgical intervention: resection of pseudoarthrosis of lower third of left tibial bone, stable-functional metal osteosynthesis by locking place with minimal contact with the bone, bone autoplastics.

The implanted locking lateral plate with minimal contact with the bone AO 3,5 mm x 230 m, 13 holes, along the lateral surface, fixed with 3 cortical and 9 locking screws. The metal construction implanted was made of alloy similar to domestic BT1-0 and cortical screws made of alloy similar to titanium BT-6.

3 months later the patient addressed once more, diagnosis: chronic osteomyelitis exacerbation after bone osteosynthesis by plate and pseudoarthrosis of lower third of the left tibial bone. Break of metal construction (Pic.2).

Reoperation: metal construction removal, intrabone osteosynthesis of pseudoarthrosis of lower third of the left tibial bone by Ilizarov.

№1 Patient C.

Diagnosis: pseudoarthrosis of lower third of the left tibial bone after intrabone osteosynthesis by External fixation apparatus (Pic.1)

№2 Patient C.

Diagnosis: closed torsion fracture of the lower third of tibial bone and upper third of fibula bone of the right shin with fragment displacement.

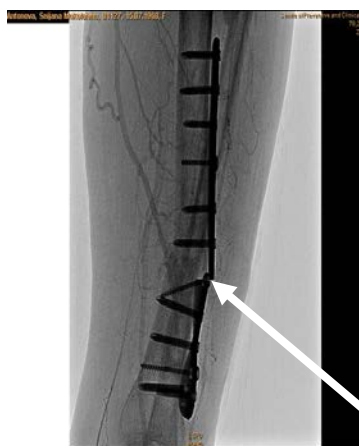


Рис.1 Рентгенограма, хвора № 1

Рис.2 Рентгенограма, хвора № 1

Pic.1 X-Ray image of the patient № 1

Pic.2 X-Ray image of the patient № 2

Стрілкою вказно місце прелому пластини та розташування кортикального гвинта.

Break of the plate and location of cortical screw is indicate with an arrow.

лівої великогомілкової кістки після черезкісткового остеосинтезу АЗФ (рис. 1).

№2 Хворий С.

Діагноз: закритий гвинтоподібни перелом нижньої третини велико-гомількової та верхньої третини малогомілкової кісток правої гомілки зі зміщенням відламків.

Оперативне втручання: відкрита репозиція перелому нижньої третини велико-гомількової кістки правої гомілки, стабільно-функціональний остеометалосинтез пластиною та гвинтами. Встановлена блокуюча латеральна пластина з мінімальним контактом з кісткою АО 5,0 мм x 230 мм з 13 отворами, по зовнішній поверхні великогомілкової кістки, яка зафіксована 4 кортикальними та 9 блокуючими гвинтами. Встановлено металоконструкцію зі сплаву аналогічного вітчизняному ВТ1-0 та кортикальні гвинти зі сплаву, що відповідають за складом титановому ВТ-6.

Через 4 місяці звернувся повторно, встановлено діагноз: консолідуєчий перелом правої великогомілкової кістки. Перелом металоконструкції.

Проведено повторне оперативне втручання: стабільно - функціональний

Surgical treatment: open reposition of the fracture of the lower third of tibial bone of the right shin, stable-functional metal osteosynthesis with plate and screws. Implanted LCP plate with minimal contact with the bone AO 5,0 mm x 230 mm, 13 holes along the lateral surface, fixed with 4 cortical and 9 locking screws. Implanted metal construction made of alloy similar to the domestic ВТ1-0 and titanium screws, composition whereof is equal to the titanium alloy ВТ-6.

4 month later the patient visited us once more with the diagnosis: consolidating fracture of the right tibial bone, fracture of metal construction.

Reoperation: stable-functional osteosynthesis by LCP plate with minimal contact with the bone of consolidated fracture of the lower third of the right shin.

№3 Patient V.

Diagnosis: non-union of distal metaepiphysis fracture of tibial and fibula bones of the left shin. Broken metal construction (Pic. 3). Surgical treatment: metal construction

остеосинтез блокуючою пластиною з мінімальним контактом з кісткою консолідуючого перелому нижньої третини правої гомілки.

№3 Хвора В.

Діагноз: незрощений синтезований перелом дистального епіметафізу великогомілкової та нижньої третини малогомілкової кісток лівої гомілки. Перелом металокопструкції (рис. 3)

removed from the left shin, open reposition of the fracture, DEM of the tibial bone, intrabone osteosynthesis by Ilizarov.

№4 Patient O.

Diagnosis: consolidated two-bone fracture of the right shin after metal osteosynthesis. Fracture of metal construction. (Pic.4).



Рис. 3 Рентгенограма хворої № 3. Стрілкою вказано місце перелому металокопструкції

Pic. 3. X-Ray image of the patient № 3. Broken metal construction is indicated with an arrow.

Оперативне втручання: видалення металокопструкцій з лівої гомілки, відкрита репозиція незрощеного перелому ДЕМ великогомілкової кістки, черезкістковий остеосинтез за Ілізаровим

№4 Хвора О.

Діагноз: консолідований двох-кісточковий перелом правої гомілки після металоостеосинтезу. Перелом металокопструкції. (Рис. 4)

Оперативне втручання: видалення металокопструкцій правої гомілки.

Усі видалені металокопструкції з гвинтами відправлено до Інституту Металофізики імені Г.В. Курдюмова НАН України для подальшого аналізу.

В етіології переломів металокопструкцій лежить цілий комплекс проблем

Surgica treatment: removal of metal construction from the right shin.

All the removed metal constructions with screws have been sent to the Institute for Metal Physic named after Kurdiumov G.V. by the National Academy of Sciences of Ukraine for analysis.

Ethology of breakages of the metal constructions contain a complex of osteointegration problems, which could be divided into the following groups:

- defects of metal constructions' materials;
- misuse of construction;
- physiological and biomechanical overloading of construction;
- violation of implantation technique.



Рис. 4 Рентгенограма хворої № 4.

Стрілкою вказано місце перелому металоконструкції

Pic. 4 X-Ray image of the patient № 4.

Place of break of the metal construction is indicated by an arrow

остеоінтеграції, які можна поділити на такі групи:

- дефекти матеріалу металоконструкцій;
- неправильне виготовлення конструкції;
- фізіологічне і біомеханічне перевантаження конструкції;
- порушення техніки встановлення металоконструкцій.

Випадки викликані дефектом матеріалу.

Дефекти матеріалу металоконструкцій можна виявити тільки після їх руйнування та видалення з організму. Такі дефекти належать до порушення технології отримання сплаву. Для титану та його сплавів важливо насичення іншими елементами, переважно киснем, які впливають на механічні властивості металоконструкцій. Вироби з комерційного титану мають перевагу перед іншими сплавами - можливість індивідуального моделювання. Але збільшення міцності сплаву внаслідок насичення киснем приводить до втрати еластичності. Мікроскопічний аналіз імплантатів (рис.5) показав присутність порозності. З цього випливає, що процес виробництва конструкцій не відповідав вимогам [2, 3].

Точність виготовлення конструкції
Тиск у ділянці гвинтового з'єднання

Cases caused by defects of material.

Defects of metal construction's material could be revealed only after destruction thereof and removal from human body. These defects are caused by violation of alloy production technology. For titanium and for alloys thereof very important is loading by other elements, mostly by oxygen, which influence on mechanical features of metal constructions. The most important advantage of devices made of commercial industrial titanium compared to other alloys is its ability to individual modelling. Although increasing the strength of the alloy after loading it with oxygen leads to lose of elasticity. Analysis of implants with microscope (Pic.5) revealed the presence of porosity. It proves that production process was inconsistent with the requirements [2, 3].

Accuracy of manufacturing

Loading at the area of screw connection leads to the occurrence of drag force and results in breakage of the plate.

Breakage is the result of bending, combined with maximum stretching, loading or spinning. Very often loss of suprastructure by

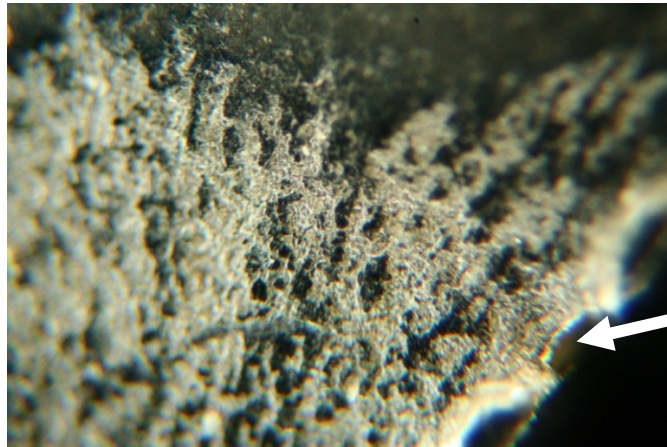


Рис. 5 Мікрофотографія пластини хворого №1. Місце зламу пластини. Збільшення в 600 разів.

Pic. 5 Microphoto of the plate of patient № 1. Area of the breakage, amplified by 600 times

призводить до виникнення зрізаючої сили та, як наслідок, до перелому пластини.

Переломи є результатом згинання, комбінованого з максимальним розтяганням, тиском або з обертанням. Часто втрата гвинтом або пластиною супраструктури веде до зламу конструкції [3,11].

Переломи металокопструкцій, викликані перевантаженням

Найбільш частою причиною перелому конструкції є біомеханічне або фізичне перевантаження. Перевантаження може бути викликане парафункціональними силами або невідповідністю розмірів конструкції. Великі навантаження виникають у ситуаціях, коли вищезазначені сили діють паралельно, особливо при встановленні консольних конструкцій, це призводить до виникнення згинального моменту сил, який є причиною перелому конструкції. Механізм руйнування за рахунок втоми матеріалу розділяється на декілька етапів: (а) початок зламу на поверхні, (б) поширення лінії зламу наскрізь імпланту та (в) остаточний розлом унаслідок надмірного навантаження після того, як площа поперечного перетину значно зменшується. Під час поширення лінії зламу, окремі цикли навантаження (наприклад, навантаження вагою тіла при ходьбі) залишають мікроскопічно малі сліди деформації на фронтальній частині

screw or plate leads to breakage of construction [3, 11].

Fractures of metal constructions due to overloading

The most frequent cause of metal construction breakage is biomechanical or physical overloading. Overloading could be the result of parafunctional forces or inconsistency of construction's size. Overloading occurs in cases of parallel influence of these forces, especially in case of console construction; this leads to bending force, which is the cause of breakage of construction. Mechanism of breakage due to fatigue is subdivided into several stages: (a) beginning of breakage on the surface; (b) extending of the fracture line through the implant and (c) final breakage due to overloading after reasonable decrease of the area of cross-section. While the fracture line is extending, certain cycles of loading (e.g. loading by body weight while walking) leave minute traces of deformation on the frontal part of the breakage. They could be seen on the surface of the breakage as parallel fatigue furrows. Each furrow represents a single state of movement of breakage line and is without any doubts the sign of dest-



зламу. Вони проявляються на поверхні зламу як паралельно розташовувані борозни втомленості. Кожна борозна являє собою послідовний етап просування лінії зламу та є безпомилковою ознакою руйнування імплантату [3,7-10].

Те, що найбільш частим етіологічним фактором перелому конструкції є парафункціональні сили, показав аналіз клінічного дослідження.

Порушення техніки встановлення металокопонування

Інколи хірурги при встановленні металокопонування можуть відійти від загальних правил з встановлення металокопонування. Лікарі, які мають обмежений досвід в операціях, можуть допустити помилки при встановленні (некоректний вибір пластини для даного перелому, неправильне розташування пластини, некоректне моделювання пластини, вибір гвинтів, порядок введення гвинтів тощо).

Аналізуючи випадки переломів конструкції було визначено, що імплантати з чистого комерційного титану частіше ламаються в результаті втоми вигину матеріалу. Деякі автори стверджують, що перевантаження імплантатів є причиною резорбції кістки навколо конструкції, а перелом металокопонування диференціюють за групами або індивідуально [4,5,7,8]. Виявлення випадків перелому залежить від тривалості періоду спостереження.

Результати та обговорення. Металеві пластини та гвинти були проаналізовані методом електронної дисперсійної спектроскопії (ЕДС) на скануючому електронному мікроскопі. Склад сплаву за елементами наведений в Таб. 1 [12,13].

Згідно з наведеними даними в (таб. 1) металеві пластини (№ 1, 2) виготовлені з титанового сплаву аналогічного вітчизняному BT1-0, а кортикальний гвинт відповідно зі сплаву аналогічного BT-6 [12,13]. Механічні властивості цих двох сплавів мають певну відмінність, але для даного випадку суттєвим є різниця в такій

руху імплантату [3, 7-10]. The analysis of clinical study has shown that parafunctional forces are the most frequent etiological factors of breakage of construction.

Violation of metal devices implantation technique

While implanting metal construction, surgeons could sometimes diverge from general rules for implantation of metal constructions.

Doctors less experiences in operations could make mistake in performing surgical interventions (incorrect choice of plate for certain fracture, screws, incorrect order of insertion of screws etc.).

Analysing the cases of breaking metal construction made of pure commercial titanium, we can reveal that they break mostly due to bending fatigue. Some authors declare that overloading of implants is the reason for resorbing of bone around the construction, and breakage of metal construction should be differentiated according to certain groups or individually [4, 5, 7, 8]. Revealing of such breakage cases depend on observation period.

Results and discussion. Metal plates and screws have been analysed by the method of electronic disperse spectroscopy (EDS) using electronic scanning microscope. The alloy composition by elements is provided in Table 1 [12, 13].

Mechanical features of these two alloys differ from each other, and for these cases essential is the difference in mechanical strength. According to the table of titanium alloys, index of strength σ_b for BT6 is from 90-110 khc/mm², and for BT1-0 – 36-55kgs/mm²[13].

It means that strength of screw exceeds the similar characteristic of the plate. Metal plates (№ 3, 4) are made of stainless steel 316 L.

Таблиця 1.

Елементний склад сплавів використаних імплантатів (вміст у %) / Compositions of alloys of the implants used (content in %)

Хвора № 1 / Patients № 1

Об'єкт / Object	Сплав / Alloy	Елемент (вміст у %) / Element (content in %)						
		Fe	Cr	Ni	Si	Ti	V	Al
Пластина / Plate	BT1-0	0,1427	0,0090	0,0163	0,0784	99,5649	-	0,03334
Кортикальний гвинт / Cortical screw	BT6	0,0842	0,1762	0,0047	0,1117	88,5613	3,8840	6,6551

Хворий № 2 / Patient № 2

Об'єкт / Object	Сплав / Alloy	Елемент (вміст у %) / Element (content in %)						
		Fe	Cr	Ni	Si	Ti	V	Al
Пластина / Plate	BT1-0	0,1427	0,0090	0,0163	0,0784	99,5649	-	0,03334

Хвора № 3 / Patient № 3

Об'єкт / Object	Сплав / Alloy	Елемент (вміст у %) / Element (content in %)						
		Fe	Cr	Ni	Si	Ti	Mn	Al
Пластина / Plate	316 L	65,00	21,53	10,43	0,73	0,97	1,34	-

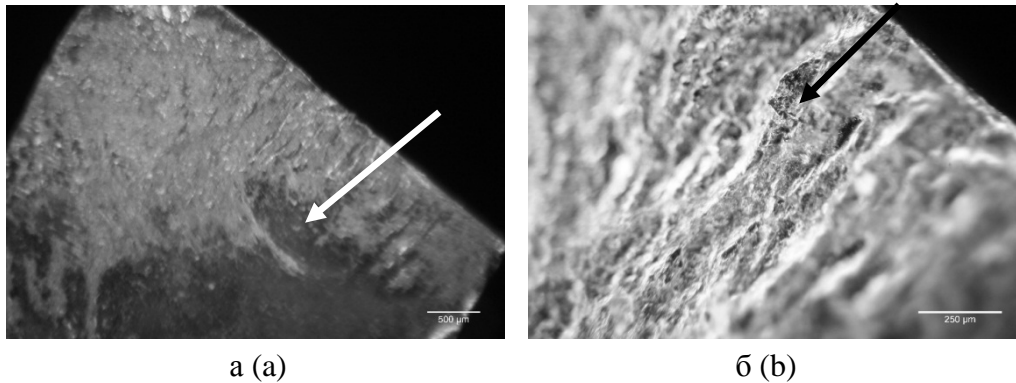
Хвора № 4 / Patient № 4

Об'єкт / Object	Сплав / Alloy	Елемент (вміст у %) / Element (content in %)						
		Fe	Cr	Ni	Si	Ti	Mn	Al
Пластина / Plate	316 L	67,00	27,53	3,45	0,73	0,97	1,34	-

характеристиці як механічне напруження. Згідно довіднику титанових сплавів показник міцності σ_b для BT6 становить: від 90-110 кгс/мм², а для BT1-0 – 36-55 кгс/мм² [13]. Це означає, що міцність гвинта вища за характеристику пластини. А металеві пластини (№ 3, 4) виготовлені з нержавіючої сталі 316 L.

Аналіз місця зламу пластин № 1, 2 за допомогою оптичного мікроскопу встановив, що зародок тріщини йде від внутрішнього отвору пластини до зовнішніх

Analysis of the breakage areas of the plates № 1, 2 made with optical microscope has shown that the beginning of the crack lasts from internal hole of the plate to external edges thereof (Pic.5). On Pic. 6 a, б upon enlargement one can see the process of alloy's selective resorption which in turn makes its contribution into worsening of implant's mechanical properties. Furthermore, we have examined the plate's surface using electronic



а (a)

б (b)

Рис.6. Мікрофото місця зламу пластин. Стрілкою вказано зародок тріщини. (а – місце початку руйнування пластини; б та в – продовження руйнування у вигляді селективного розчинення сплаву)

Pic.6. Microphoto of the plate's area of breakage. Arrow indicate the place where the crack began (a – place where destruction of the plate began; b and c – continued destruction in form of selective dissolution of the alloy)

країв (рис.5). Також на (рис. 6 а, б) при збільшенні видно, що в місці утворення тріщини спостерігається процес селективної резорбції сплаву, який, у свою чергу, вносить суттєвий вклад у погіршення механічних властивостей імплантату Крім того, було проведено дослідження поверхні пластин за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). На (рис.6) видно, що поверхня пластин зазнала впливу організму, а саме в місцях, де встановлювали кортикальний гвинт (рис. 7 а, б). Основна поверхня пластини має піттингові дефекти, як наслідок селективної корозії. За результатами елементного аналізу видно, що захисний шар з нітриду титану розчинюється і в центрі піттингової корозії склад сплаву змінюється на майже чистий титан (див. таб. 2 та рис.7).

Дані таблиці вказують, що корозії піддається вся поверхня пластини, але в місцях отворів цей процес прискорюється завдяки механічним процесам, як приклад, закручування кортикального гвинта.

Ці результати дозволяють сказати, що гострий край головки кортикального гвинта є руйнуючим фактором для пластини, тому що твердість гвинта більша за твердість сплаву пластини, а при встано-

scanning microscope (ESM). Pic.6 shows that surface of the place underwent the influence of human body, namely in places of cortical screws installation (Pic.7 a, b). Main surface of the plate has pitting defects, resulted from selective corrosion. Elementary analysis revealed that protective layer of titanium nitride is being dissolved and composition of the alloy in the centre of pitting corrosion changes into almost pure titanium (see Table 2 and Pic.7).

The Table shows that corrosion influenced the complete surface of the plate, although in the areas of holes and around them it is faster due to mechanical processes, e.g. driving screws.

These results bring us to the conclusion that sharp edge of cortical screw's head is a destroying factor for the plate, because hardness of screw alloy is higher compared to the same index of the plate, and if it is placed at an angle with the plate, different from perpendicular, edge of the screw head plays the role of cutting element and upon loading is finished destroying of the place. Possible

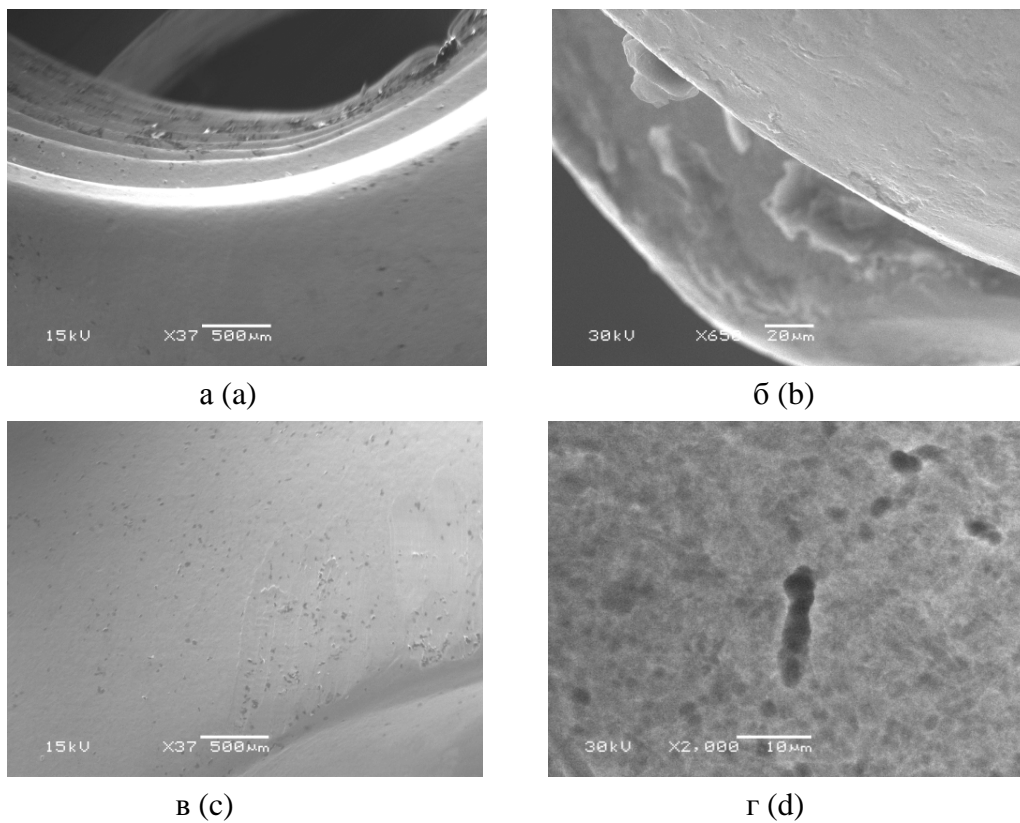


Рис.7 Вигляд ортопедичної пластини в області отвору (а, б) та основної поверхні (в, г) при різних збільшеннях

Рис.7. Appearance of orthopedic plate in the area of hole (a, b) and main surface (c, d) in different amplification.

Таблиця 2

Зміни елементного складу поверхні ортопедичної пластини № 1, 2 після вилучення з організму пацієнта

Table 2

Changes in elementary composition of orthopedic plates No. 1, 2 surface after removal from patient's body

Елемент/ Element	Ат %			
	а	б	в	г
N	15,44	83,42	-	-
O	-	-	-	22,32
Ti	84,56	16,58	100	77,67



вленні його під кутом відміним від перпендикуляру в отвір пластини край головки виконує роль ріжучого елементу і, при навантаженні у вигляді деформації, завершує руйнування пластини. Імовірну схему руйнування наведено на рис. 8.

На рис.8 показано, що гострий край гвинта може виконувати при встановленні роль різця.

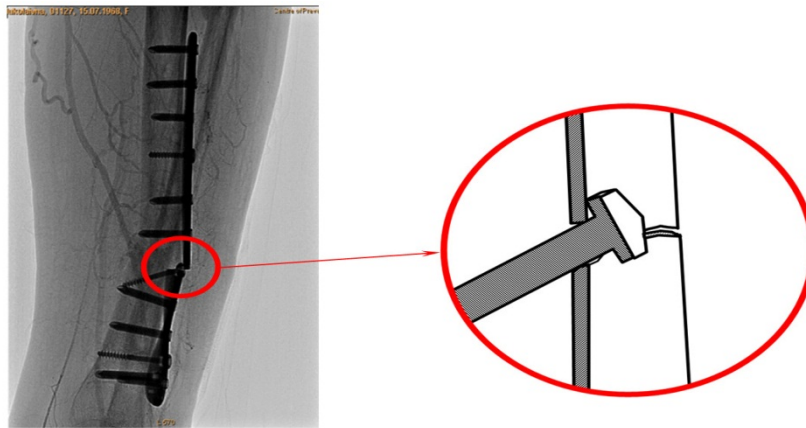


Рис. 8 Можлива схема руйнування титанової пластини при встановленні кортикального гвинта

Pic. 8. Possible scheme of titanium plate destruction after cortical screw installation.

Ця дія в результаті й приводить до утворення зародку тріщини, і як наслідок, при навантаженні відбувається руйнування пластини. Як було вказано вище, можливою причиною такого процесу є те, що характеристика твердості або механічного напруження пластини була нижчою, ніж гвинта.

У хворих № 3, 4 були встановлені пластини із неіржавіючої сталі. Аналогічно до випадків з хворими № 1 та 2, у хворої № 4 злам пластини відбувся внаслідок некоректного встановлення гвинта (рис.4). До цієї проблеми додалось селективне розчинення складових неіржавіючої сталі, як видно з таб.1 хвора № 4. Пластина хворого № 3 зазнала зламу через втому матеріалу, яка виникла за рахунок раннього навантаження на зламану кінцівку внаслідок ігнорування хворим рекомендацій лікаря.

scheme of such destruction is provided on Pic.8.

Pic.8 demonstrates how the sharp edge of a screw installed at an angle could play the role of a cutter.

Influence of the sharp edge of the screw's head leads to crack nucleation, which results in plate breakage upon loading. As it

has been mentioned above, this process could be caused by the difference in hardness or mechanical loading of plate was less compared to the same of screw.

Patients № 3 and 4 have been treated using plates of stainless steel. Similarly to the case № 4, breakage of the plate occurs due to incorrect installation of screw (Pic.4). This problem has been exaggerated by selective destruction of stainless steel components (Pic.1, Patient № 4). Plate of the patient № 3 have been broken due to exhaustion of metal due to early loading on broken extremity by the patient on contrary to doctor's prescription.

Висновки:

Для запобігання зламу металоконструкцій треба пам'ятати про наступні нюанси:

1. Необхідне використання пластили та гвинтів з одного сплаву.
2. При встановленні гвинтів їх гострий край може виконувати роль різця, що, в свою чергу, може призвести до початку утворення зламу на поверхні, потім до поширення лінії зламу наскрізь імпланту та до остаточного розлому металоконструкції внаслідок надмірного навантаження.
3. Перед кожним оперативним втручанням необхідне ретельне планування, у ході якого необхідно обґрунтовано підбирати фіксатор, продумувати техніку його установки, наперед спланувавши функцію кожного елемента фіксуючої конструкції.
4. Адекватне та повноцінне проведення реабілітації після метало остеосинтезу.
5. Пацієнти повинні суворо дотримуватися рекомендацій лікаря (щодо навантаження на прооперовану кінцівку).

Список літератури / References

1. Набоков А.Ю. Современный остеосинтез. М.: Изд-во Медицинское информационное агентство, 2007. 400 с.
2. Биоматериалы и имплантаты для травматологии и ортопедии / Т.С. Петровская, В.П. Шахов, В.И. Верещагин, В.П. Игнатов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 307 с.
3. Использование титана в производстве имплантатов для костной хирургии //Ortrun E.M. Pohler//Margo anterior № 1-2/2001, стр. 5-9.
4. Основные рекомендации по клиническому применению системы LCP/E. Gautier, C. Sommer// Margo anterior № 1-2/2004, стр. 3-14.
5. Концепция оперативного лечения переломов /Майкл Вагнер// Margo anterior № 3/2006, стр. 1-5.
6. Усольцев И.Н., Леонова С.Н., Никифоров С.Б., Пушкарев Б.Г. //Использование 93ртопеди93 в 93ртопеди93оги и 93ртопеди: история вопроса. Сибирский медицинский журнал, 2013, № 4 стр. 19-22.

Conclusions:

To prevent breakage of metal devices, the following nuances should be considered:

1. Plates and screws should be made of similar alloy.
2. Sharp edge of implanted screw could act as a cutter, leading to surface breakage, which then extends through the implant and ends with breakage of the metal construction due to overloading.
3. Each surgical treatment must be preceded by careful planning, grounded choice of fixator and accurately thought over installation technique and function of the entire elements of fixing construction.
4. Adequate and complete rehabilitation after metal osteosynthesis.
5. Strictly following the surgeon's recommendation (regards loading the extremity after operation) by the patients.



7. Разрушение имплантатов при накостном остеосинтезе переломов длинных костей / А.В. Бондаренко, Е.А. Распопова, В.А. Пелеганчук, С.А. Печенин // Вестн. 94ртопеди94оги и 94ртопеди им. Н.Н. Приорова. 2004.

8. Биоматериалы и имплантаты для 94ртопеди94оги и 94ртопеди / Т.С. Петровская, В.П. Шахов, В.И. Верещагин, В.П. Игнатов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 307 с.

9. Effect of plate position relative to bending direction on the rigidity of plate osteosynthesis. A theoretical analysis(Text)/ E.Gautier, S.Perren, J.Cordey // Injury.- 2000.- V. 31(Suppl 3). – p. 14 – 20.

10. <http://bioimplantat.ru/stat/protez.html>

11. Справочник. Авиационные материалы, т.5, Москва, ВИАМ, 1973, 584 стр.

12. <http://www.temp-ekb.ru/titanovie-splavi-v-midicine.html>.