

## Зміст

## ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

<b>Kostrub O. O., Shukalo O. I., Dunaievskiy V. I., Kotovskiy V. Y., Timofeiev V. I., Nazarchuk S. S.</b> Remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostics of the health of military personnel before surgical intervention.....	5
<b>Пятковський В. М., Турчин О. А., Омельченко Т. М., Євлантьєва Т. А., Харчик В. С., Лябах А. П.</b> Артродез надп'яtkово-гомількового суглоба після вогнепальних поранень.....	13
<b>Шмагой В. Л., Ульянчич Н. В., Юрженко М. В., Коломієць В. В., Фірстов С. О.</b> Використання модифікованої біоактивної кераміки під час пластики критичних розмірів посттравматичних кісткових дефектів.....	21
<b>Штробля В. В.</b> Вплив терапії CO <sub>2</sub> та її комбінацій на запальну активність та імунний статус: експериментальне дослідження.....	30
<b>Макаров В. Б., Корж М. О.</b> Аналіз післяопераційних ускладнень у разі хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки в пацієнтів зі зниженням мінеральної щільності кісткової тканини.....	37
<b>Лизогуб К. І., Лизогуб М. В.</b> Вплив передопераційного волемічного навантаження на показники гемодинаміки під час артроскопії плечового суглоба.....	45
<b>Бондаренко С. Є., Філіпенко В. А., Мальцева В. Є., Приймак Д. В., Серєда Д. І.</b> Україномовні валідовані шкали Forgotten Joint Score-12 для пацієнтів після ендопротезування кульшового та колінного суглобів.....	50
<b>Страфун С. С., Голіук Є. Л., Зубов Д. О., Магомєдов О. М., Стародуб Г. С., Малова Н. К.</b> Критерії якості біотехнологічних продуктів на основі аутологічного аспірата кісткового мозку для застосування в травматології та ортопедії.....	56
<b>Попсуїшапка О. К., Суббота І. А.</b> Особливості деформування моделі «уламки – зовнішній стрижневий апарат» у разі застосування конструкцій із різною геометрією будови.....	65
<b>Карпінська О. Д., Гриценко А. М.</b> Математичне моделювання роботи м'язів, відповідальних за згинання плечового суглоба у разі верхнього акушерського параліча.....	75
<b>РЕАБІЛІТАЦІЯ</b> <b>Анкін М. Л., Ладика В. О., Глиняна О. О., Барилевич М. М.</b> Ефективність хірургічного лікування та реабілітаційних заходів у відновленні пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини.....	82

## Contents

## ORIGINAL ARTICLES

<b>Kostrub O. O., Shukalo O. I., Dunaievskiy V. I., Kotovskiy V. Y., Timofeiev V. I., Nazarchuk S. S.</b> Remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostics of the health of military personnel before surgical intervention.....	5
<b>Piatkovskiy V. M., Turchin O. A., Omelchenko T. M., Yevlantieva T. A., Kharchyk V. S., Liabakh A. P.</b> Ankle arthrodesis after combat related injuries.....	13
<b>Shmagoy V. L., Ulyanchich N. V., Iurzhenko M. V., Kolomiets V. V., Firstov S. O.</b> Our experience in using modified bioactive ceramics for the reconstruction of critical post-traumatic bone defects.....	21
<b>Shtroblia V. V.</b> The effect of CO <sub>2</sub> therapy and its combinations on inflammatory activity and immune status: an experimental study.....	30
<b>Makarov V. B., Korzh M. O.</b> Analysis of postoperative complications in the surgical treatment of proximal humeral fractures in patients with decreased mineral bone density.....	37
<b>Lyzogub K. I., Lyzogub M. V.</b> The impact of preoperative volume overload on hemodynamic parameters during shoulder arthroscopy.....	45
<b>Bondarenko S. Ye., Filipenko V. A., Maltseva V. Ye., Pryimak D. V., Sereda D. I.</b> Ukrainian-language validated scales Forgotten Joint Score-12 for patients after hip and knee arthroplasty.....	50
<b>Strafun S. S., Holiuk Ye. L., Zubov D. O., Magomedov O. M., Starodub H. S., Malova N. K.</b> Quality criteria for minimally manipulated biotechnological products based on autologous bone marrow aspirate for use in traumatology and orthopedics.....	56
<b>Popsuishapka O. K., Subbota I. A.</b> Features of deformation of the «debris – external core apparatus» model in the case of using structures with different structural geometry.....	65
<b>Karpinska O. D., Hrytsenko A. M.</b> Mathematical modeling of the muscles responsible for shoulder joint flexion in upper obstetric paralysis.....	75
<b>РЕHABILITATION</b> <b>Ankin M. L., Ladyka V. O., Glynyana O. O., Barylovych M. M.</b> The efficiency of surgical treatment and rehabilitation in the recovery of patients with a acetabular posterior wall fractures.....	82

**КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ  
ТА НОТАТКИ З ПРАКТИКИ**  
**Головаха М. Л., Бондаренко С. А.,  
Харт Р., Орлянський В.**

Використання індивідуального інструмента  
для високої вальгізуючої остеотомії  
великогомілкової кістки  
за варусного гонартрозу.....

90

**ОГЛЯДИ ТА РЕЦЕНЗІЇ**  
**Курило Д. Ю., Григор'єва Н. В.**

Остеосаркопенія: епідеміологія,  
фактори ризику  
та сучасні стратегії менеджменту.....

96

**Висоцький О. В.**

Порушення функціонування  
системи гемостазу у хворих  
на коксартроз III–IV стадій  
після операцій тотального ендопротезування  
кульшового суглоба (огляд літератури).....

107

**SHORT REPORTS AND NOTES  
FROM PRACTIC**  
**Golovakha M. L., Bondarenko S. A.,  
Hart R., Orlyanski W.**

Use of individual instrument  
for high tibial valgus  
osteotomy in varus  
gonarthrosis.....

90

**DIGEST AND REVIEWS**  
**Kurylo D. Yu., Grygorieva N. V.**

Osteosarcopenia: epidemiology,  
risk factors and modern  
management strategies.....

96

**Vysotskyi O. V.**

Hemostatic system disorders  
in patients with coxarthrosis  
of III–IV stages  
after total hip arthroplasty  
(literature review).....

107

## ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

УДК 616-073.753:535-1]-058.835(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-5987202515-12>**Remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostics of the health of military personnel before surgical intervention****O. O. Kostrub<sup>1</sup>, O. I. Shukalo<sup>1</sup>, V. I. Dunaievskiy<sup>2</sup>,  
V. Y. Kotovskiy<sup>3</sup>, V. I. Timofeiev<sup>3</sup>, S. S. Nazarchuk<sup>3</sup>**<sup>1</sup> SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv<sup>2</sup> V. Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv<sup>3</sup> National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

*A complete and informative diagnosis of the general health of military personnel before surgical intervention is of great importance for its successful implementation. A simple and affordable diagnostic method of radiological diagnostics is the method of remote infrared thermography. Conducting a comprehensive thermographic examination of military personnel before surgical intervention allows for the treatment of those pathological conditions that were detected during the thermographic examination. Objective. To show the possibility and evaluate the diagnostic informativeness remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostic monitoring of the health of military personnel before surgical intervention; to obtain thermographic visualizations of detected pathological changes associated with participation in combat operations. Methods. The work used a domestic thermograph with a temperature sensitivity of 0.07 °C and a ThermaCAM thermograph E 300 FLIR SYSTEM. Observation and control of thermal fields were carried out in the ranges of 3÷5 μm and 8÷14 μm. The examination was carried out during inpatient and outpatient treatment. Results. Received thermographic visualizations detected pathologies: disorders functions breathing; thermal asymmetries zones projections lung because of COVID-19; complications after firearm injury — pneumothorax; zones hyperthermia temporal bones due to contusion; vascular pattern disorders in the thyroid gland; functional and chronic disorders organs gastrointestinal and urological pathologies; degenerative-dystrophic musculoskeletal changes The oscillographic distributions of temperature patterns of the detected pathological conditions, which characterize the severity of traumatic and degenerative-dystrophic changes, were studied. Conclusions. In the presented work for the first time obtained and the results of a comprehensive thermographic health check-up military personnel after a long stay in the combat zone and before operational Remote infrared thermography, as one of the methods of radiological diagnostics, allows for a comprehensive examination of a significant number of military personnel in a short period of time and to identify pathological changes that require additional examination by narrowly specialized specialists.*

*Повноцінна й інформативна діагностика загального стану здоров'я військовослужбовців перед хірургічним втручанням має велике значення для його успішного проведення. Простим і доступним діагностичним методом променевої діагностики є спосіб дистанційної інфрачервоної термографії. Мета. Показати можливість та оцінити діагностичну інформативність дистанційної інфрачервоної термографії в системі комплексного діагностичного контролю за станом здоров'я військовослужбовців перед оперативним втручанням; отримати термографічні візуалізації виявлених патологічних змін, пов'язаних з участю в бойових діях. Методи. Застосовано вітчизняний термограф із температурною чутливістю 0,07 °C і термограф ThermaCAM E300 FLIR SYSTEM. Спостереження та контроль теплових полів здійснювались у діапазонах 3÷5 та 8÷14 мкм. Обстеження проводилось під час стаціонарного й амбулаторного лікування. Результати. Отримані термографічні візуалізації виявлених патологій: порушення функції дихання; термоасиметрії зони проєкції легень після перенесеного COVID-19; ускладнення після вогнепального поранення — пневмоторакс; зони гіпертермії скроневих кісток унаслідок контузії; порушення судинного рисунку в щитоподібній залозі; функціональні та хронічні розлади органів шлунково-кишкового тракту й урологічні патології; дегенеративно-дистрофічні зміни опорно-рухового апарата. Висновки. Наведено вперше отримані результати комплексного термографічного обстеження стану здоров'я військовослужбовців після тривалого перебування в зоні бойових дій та перед оперативним втручанням. Дистанційна інфрачервона термографія, як один із методів променевої діагностики, дозволяє комплексно обстежити значну кількість військових за короткий період часу та виявити патологічні зміни, які потребують додаткового обстеження вузькопрофільними спеціалістами. Ключові слова. Інфрачервона термографія, градієнт, температура, військовослужбовці, осцилографічний термозріз.*

**Keywords.** Infrared thermography, gradient, temperature, military personnel, oscillographic thermal image

## Introduction

Non-invasive research methods in clinical diagnostic medicine with the maximum informative content of examination results allows detecting diseases at an early stage, which is the key to successful treatment.

Such non-invasive diagnostic methods of modern radiology include computer thermal diagnostics, which is based on highly sensitive spectral fixation of infrared radiation of the affected anatomical structure with the possibility of further digital processing of the obtained information on thermal radiation of organs and tissues of the human body [1, 2].

To verify the diagnosis in the shortest possible time or determine the need for its verification using other clinical methods, as well as monitor the course of the disease over a long period of time and evaluate the effectiveness of the treatment process.

Modern thermal imaging systems use multi-element matrix photodetectors in the so-called «instantaneous look» mode. The formation of a thermal image is created by projecting the study area using a lens onto the matrix photodetector, electronically reading information from the photodetector matrix element by element, and presenting the thermograms on the PC display screen.

The thermograph provides the ability to perform measurements in any part of the skin surface (SS) of a biological object (BO) in the ranges of  $3\div 5\ \mu\text{m}$  and  $8\div 14\ \mu\text{m}$ . The ability to visualize the studied BO with qualitatively new characteristics (temperature sensitivity, image contrast) allows significantly expanding the scope of application of remote infrared thermography (RIT) in medical practice. Intensive work is underway to improve the software and hardware [3, 4].

The RIT method does not compete with other diagnostic methods. It occupies its own special niche as a diagnostic and preventive method, which is associated with analytical and radiological diagnostics. RIT contributes to reducing the duration of primary diagnostics, predicting treatment tactics and timely establishing the necessary nature and volume of medical care.

It should be noted that temperature is a universal reflection of the vital activity of the body. A change in temperature distribution is a potential signal of the development of a pathological process, which can manifest itself in one of three thermographic signs: the existence of anomalous zones of hypo- or hyperthermia, a violation of the normal thermotopographic pattern, as well as a change in the tempera-

ture gradient in the area under study. Inflammatory processes cause a change in the gradient between the affected area and surrounding tissues: in chronic inflammatory processes  $0.7\ ^\circ\text{C}$ , in acute  $1.0\text{--}1.5\ ^\circ\text{C}$ , in purulent-destructive  $1.5\text{--}2.0\ ^\circ\text{C}$ . Analysis of thermograms includes their qualitative and quantitative assessment. Qualitative assessment is the visualization of the thermal picture on the surface of the BO (distribution of «hot» and «cold» areas). The quantitative assessment includes the so-called temperature gradient — the difference between the temperature of the studied area and the neighboring area, which makes it possible to take into account the localization of the exposed area, the degree of its vascularization and the severity of the pathological process. In addition to changes in the temperature gradient, thermograms during inflammatory processes register zones of thermal asymmetry, which in shape, size and location correspond to the most pathological changes.

The presence of pathological changes in internal organs leads to temperature anomalies and is projected onto the skin due to tissue thermal conductivity, capillary convection, and convection through large vessels. In addition, local changes in tissue temperature often appear before structural changes that can be detected by other instrumental methods.

Thus, thermography makes it possible to identify the relationship between the severity of clinical manifestations of a potential disease and the temperature of the respiratory tract.

In conditions of military operations, it is impossible to ensure the conduct of high-quality diagnostic measures to determine the health status of military personnel, especially those who have been wounded and injured. RIT is a mobile diagnostic complex that allows you to obtain information about damaged areas and the scope of surgical intervention.

To diagnose the health of military personnel, complex laboratory and instrumental diagnostic methods are used, such as: radiography (RF); computed tomography (CT); ultrasound diagnostics (USD); magnetic resonance imaging (MRI) and others.

Each of the above diagnostic methods has its own advantages and disadvantages. Significant radiation exposure to the subject, which requires a certain period of time before the next examination, significant cost and insufficient informativeness, especially in the early stages of the development of the pathological process, necessitated the use of the RIT method.

The current level of development of thermal imaging technology allows for the reliable diagnosis of a wide range of diseases, which is reflected in the works of domestic and foreign clinicians [2, 5–11].



The undeniable advantages of this method in medicine are: remote and non-invasive nature of the study, the possibility of repeated use both during comprehensive diagnostic examinations and during treatment for the purpose of monitoring and correcting therapeutic measures.

*Objective:* to perform a comprehensive examination of the health of military personnel using the method of remote infrared thermography before surgical intervention; to obtain thermograms of pathological changes associated with participation in combat operations; to analyze oscillographic temperature patterns of the thermal field.

## Material and methods

The work used a domestic thermograph with a temperature sensitivity of 0.07 °C developed by the V. Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the NAS of Ukraine with a cooled matrix photodetector and a basic test program for the TherrmoVisio thermal imaging system, as well as the ThermaCAM E300 FLIR SYSTEM thermograph. Observation and control of thermal fields was carried out in the ranges of 3÷5 μm and 8÷14 μm. The implementation of program codes was carried out in the Delphi programming language in the Borland Delphi 7 development environment.

When formatting the results of thermographic studies (personal thermographic patient card), the program uses the properties of a Microsoft Word document to create a template and inserts them into the appropriate field of the text editor, and also adds a set of special commands necessary for working with infrared (IR) images (the ability to insert a text comment, a patient photo card, his IR image, the required thermal profile, a results table, etc.) and various research tools. The diagnostic information obtained in this way can be stored as an electronic card in the Basic IR Photo template for further operational analysis, observation and prediction of the dynamics of the functional state.

The examination was conducted during inpatient and outpatient treatment. The age of the patients ranged from 25 to 58 years, the weight of the patients ranged from 55 kg to 80 kg depending on age, the number of examined persons was 66. No special division of patients into groups was carried out.

Before the thermographic examination, the patients did not undergo thermal procedures, they did not take medications that affect blood circulation and metabolic processes, and they were also subject to adaptation to the temperature conditions of the thermography room.

The study was conducted in accordance with the principles of bioethics set forth in the Declaration of Helsinki «Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects» and the «Universal Declaration on Bioethics and Human Rights» (UNESCO).

Thermogram processing and further actions to format the results of thermographic studies were performed using the TherrmoVisio program, which was improved by the authors and allows obtaining thermographic images with removed background noise and imperfect pixels, and simplifying the obtaining of oscillographic thermal sections in the real temperature value [12, 13].

## Results

The paper presents the results of a comprehensive thermographic examination of military personnel before surgical intervention on knee joints, which they received in the combat zone.

Being in difficult field conditions and not being able to contact medical specialists in a timely manner regarding diseases, military personnel experience exacerbation of both chronic and acquired pathologies. The combination of gunshot wounds with other types of diseases such as: traumatic injuries of the musculoskeletal system, inflammatory processes of the ENT organs and respiratory organs, frostbite and hypothermia in winter require multidisciplinary diagnostic methods. The RIT method allows you to effectively get an idea of the prevalence and nature of diseases with the possibility of photofixation and ensuring dynamic monitoring of pathological processes.

The inflammatory process in the maxillary and frontal cavities, which leads to impaired respiratory function, is the most common pathological condition. One of the causes of this pathology is a congenital or acquired deviation of the nasal septum.

Fig. 1, a shows thermographic visualization — impaired respiratory function on the left (the air flow inhaled through the right nasal cavity is isolated, through the left — absent). The pathological condition revealed is a deviation of the nasal septum and an inflammatory process in the maxillary sinuses. The temperature gradient on the left is:  $\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = +1.42 \text{ } ^\circ\text{C}$ , on the right —  $+0.83 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

The thyroid gland (TH) has significant vascularization and is located directly under the thyroid gland, making it an easily accessible organ for thermographic examination [11]. Thermographic visualization of pathological changes and oscillographic temperature distribution in the projection zone of the thyroid gland on the right are shown in

Fig. 1, b, c. The hyperthermic area is characterized by a temperature gradient of  $+1.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which is a diagnostic signal for a detailed examination of the thyroid gland.

A thermographic examination of a serviceman was performed during the rehabilitation period after a gunshot wound to the left lung and a complication — left-sided pneumothorax (shown by arrow 1, Fig. 1, d). The temperature gradient between the selected and adjacent areas (arrows 1 and 2, respectively) is:  $\Delta T^{\circ}1-2 = +1.52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which indicates the presence of pathological changes in the lungs.

Thermography, as part of the differential diagnosis of diseases of the bronchopulmonary system, allows you to identify areas of local hyperthermia and thermal asymmetry of the posterior projection of the lungs [14, 15].

It should be noted that thermographic imaging of lung thermal fields in patients after COVID-19 differs from thermographic imaging of the lungs after bacterial or viral pneumonia not associated with COVID-19.

Fig. 1, e, f shows a thermogram of the posterior projection of the lungs (history of COVID-19) and an oscillographic thermal section relative to the line. The temperature gradient in the projection zone of the left lung is  $+1.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; in the right lung zone —  $+1.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

One of the characteristic signs of COVID-associated pneumonia is the symptom of “ground glass” — areas of reduced transparency of the lung parenchyma, which have a low density, against the background of “ground glass” vessels and bronchi are differentiated, which are distinguished by a denser structure [15, 16]. Parenchymal consolidation (consolidation) is an area of often irregular shape, which exceeds the density of the “ground glass” zone, due to which vessels and bronchi are not visualized. Consolidation is also due to the accumulation of exudate in the alveolar spaces, which is characteristic of bacterial pneumonia, which affects the nature of infrared radiation from lung tissue.

A dangerous health condition is contusion [17], which is thermographically visualized as hyperthermia of the temporal part (Fig. 2, a, c). The temperature gradient in the hyperthermia zone on the left (arrow 1) has a maximum value of  $+3.03\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $+2.96\text{ }^{\circ}\text{C}$  (arrow 3 — intact zone). The serviceman received a bullet wound in the area shown by arrow 2 in Fig. 2, a. The temperature distribution oscillogram (b) is made relative to the line ((a), bullet wound zone), on which the appearance of separate zones with temperature maxima is observed (zones 1,

2 are highlighted in Fig. 2, b). After the temperature drop, we observe a sharply pronounced zone (3) with a maximum temperature corresponding to the area of the bullet wound; the thermogram of the temporal part on the right with the oscillographic temperature distribution (c, d — respectively) is also shown.

Gastrointestinal disorders (GI) appear as various combinations of chronic or recurrent symptoms, which often indicate the result of the interaction of psychosocial factors and changes in the physiology of the stomach, gallbladder, intestine in field conditions. The appearance of pathological changes in the organs of the digestive system leads to changes in the temperature indicators of the abdominal cavity.

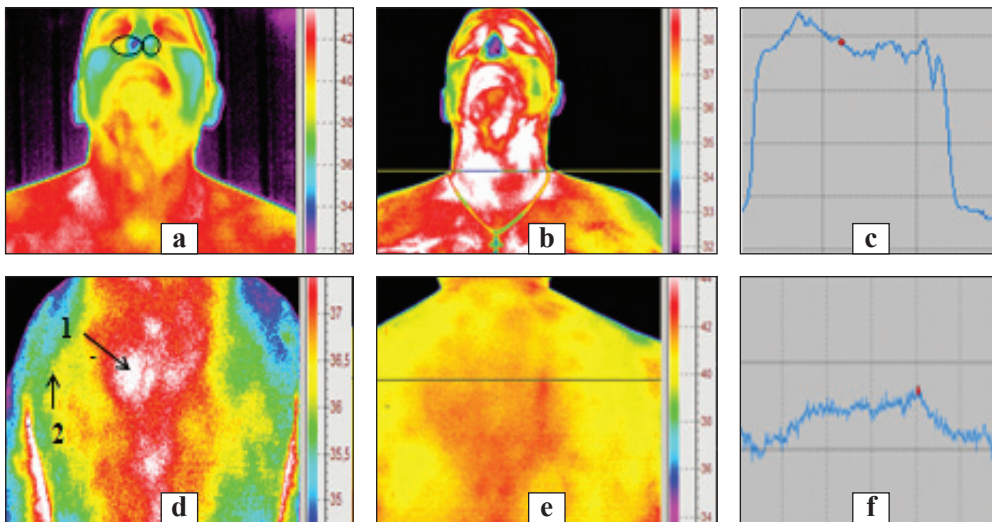
Fig. 3, a shows the projection zone of the pancreas, performed by the ThermaCAM E300 FLIR SYSTEM thermograph. Temperature fluctuations in the visualization zone of the pancreas (along the line in Fig. 3, a) are in the range from  $32.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $34.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

The use of the RIT method for detecting urological pathology complements the comprehensive diagnostic base. As an example, Fig. 3, b shows thermographic visualization of hypothermia areas in the kidney projection zone. This nature of thermographic visualization indicates the presence of urolithiasis, which is confirmed in the anamnesis. The temperature gradient of the left kidney projection zone is: —  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , on the right: —  $1.8^{\circ}\text{C}$ .

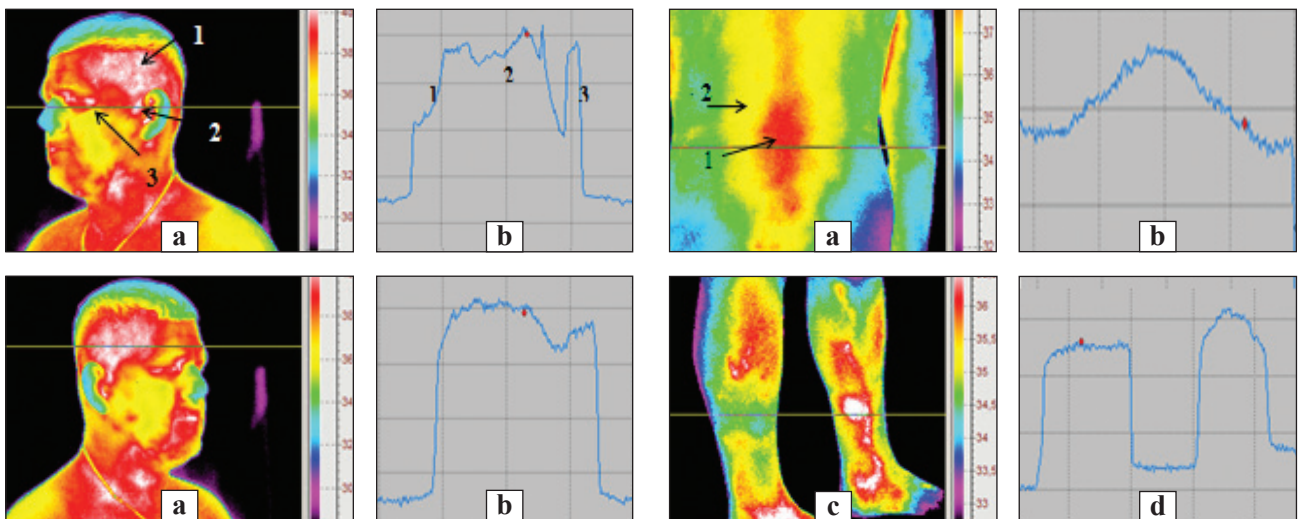
Significant physical exertion leads to exacerbation of degenerative-dystrophic changes, discogenic pathologies of the spine in military personnel. RIT provides an opportunity to promptly and objectively assess the severity of the identified pathologies. Thus, in Fig. 4, a, a hyperthermia area in the lumbosacral region is presented (arrow 1, a; arrow 2 — intact zone) and oscillographic distribution (b) relative to the line; the temperature gradient is:  $\Delta T\ 2-1 = +1.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which indicates an exacerbation of the identified pathology and significant pain syndrome.

The presented thermogram (Fig. 4, c) and oscillographic temperature distribution (Fig. 4, d) visualize Thermotopography of the lower limb with temperature changes characteristic of a vascular disorder — varicose veins (VV). VV of the left lower limb is represented by uneven saccular dilation of the veins, accompanied by valve insufficiency and impaired blood flow.

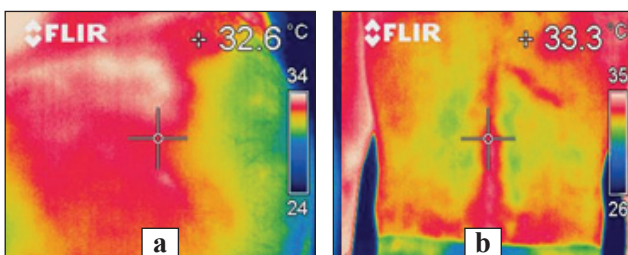
The presence of VVD imposes restrictions on the ability to perform heavy physical exertion. According to the authors, circulatory disorders serve as a prerequisite for the occurrence of functional and degenerative changes in the knee joints, which was also reflected in the works of other researchers [18–21].



**Fig. 1.** Impaired respiratory function on the left (a); hyperthermia of the right lobe of the thyroid gland (b) and temperature distribution oscillogram relative to the line (c); hyperthermia of the posterior projection of the lungs, pneumothorax (d); hyperthermia of the posterior projection of the lungs after COVID-19 (e) and temperature distribution oscillogram (f) relative to the line

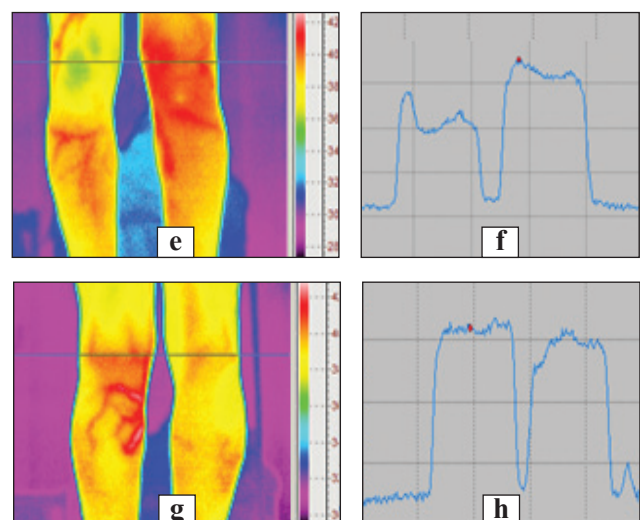


**Fig. 2.** Hyperthermia of the temporal regions (a, c) due to concussion, (arrow 2 – site of bullet wound); oscillographic distribution of temperature (b, d) relative to the lines



**Fig. 3.** Hyperthermia of the projection zone of the pancreas (a); hypothermia of the projection zone of the kidneys (b)

Orthopedic pathology of the knee joints occupies a leading position in terms of frequency of occurrence among degenerative-dystrophic diseases of the musculoskeletal system in military personnel. An important aspect of the problem is the timely diagnosis of the disease using simple and affordable methods of radiological diagnostics.



**Fig. 4.** Hyperthermia of the lumbosacral region (a) and oscillographic distribution (b) relative to the line; HRV of the lower extremities (c) and oscillographic distribution (d) relative to the line; hyperthermia of the left knee joint after anterior cruciate ligament reconstruction, partial resection of the medial meniscus: anterior (e) and posterior (g) projections; oscillographic distribution (f, h) relative to the lines



Thermographic visualization of knee joints with various manifestations of lesions allows you to reliably and informatively enrich the comprehensive diagnostics of the musculoskeletal system, provide an assessment of the effectiveness of treatment and safely monitor it [12, 22–24].

Fig. 4, e, shows thermographic visualization of the left knee joint after surgical treatment — anterior cruciate ligament reconstruction, partial resection of the medial meniscus. The condition after surgery and the presence of implants leads to changes in temperature patterns, presented in oscillographic temperature distributions (Fig. 4, e, g).

## Discussion

In connection with military operations, interest in the use of RIT, which is aimed at identifying and timely treating diseases in military personnel, has significantly increased.

The authors of the work [25–26] investigated the diagnostic capabilities of spectral infrared thermography in the treatment of gunshot wounds of soft tissues. The issue of the use of RIT in obliterating diseases of the lower extremities is the subject of the work of the author [18]. The use of the thermal imaging control technique for monitoring the dynamics of thermal fields on the SS in the case of short-term cryosurgical treatment of soft tissue pathology with quasi-point the authors' work [27] is devoted to the cryoapplicator. The feasibility of using thermal imaging studies in medicine to obtain thermal radiation from the CB's SS is described in [3]. Visualized thermal radiation makes it possible to assess the state of both peripheral blood circulation and obtain information about deep processes in the body.

The authors of [28] used the thermographic method to assess the condition of military personnel before and after surgical intervention due to gunshot wounds, which allows for timely detection of complications and taking prompt medical measures to prevent postoperative complications.

In the presented work, the results of a comprehensive thermographic examination of the health status of military personnel before surgical intervention are obtained for the first time. Oscillographic distributions of temperature patterns of detected pathological conditions are presented separately, which characterize the severity of traumatic and degenerative-dystrophic changes. Thermographic visualizations of detected pathologies were obtained: respiratory function disorders; hyperthermia of the lung projection zone after COVID-19 and complications due to gunshot wound — pneumothorax; hyper-

thermia of the temporal parts after contusion; pathological processes in the thyroid gland; functional and chronic disorders of the gastrointestinal tract and urological pathologies; degenerative-dystrophic changes in the musculoskeletal system. A comprehensive understanding of the health status of military personnel will be the key to successful surgical intervention and will contribute to a speedy recovery.

## Conclusions

Preservation of the health of military personnel is a top priority for ensuring the combat readiness of military units. The use of existing radiation diagnostic methods in field conditions and in conditions of front-line deployment of military personnel is a problematic issue due to the use of complex equipment and limited capabilities for conducting diagnostic actions.

First performed comprehensive thermographic examination of military personnel before surgical intervention: obtained thermographic visualizations and oscillographic temperature distributions of such pathological conditions as contusion, bullet wound, residual phenomena in the bronchopulmonary system due to COVID-19, exacerbation of chronic diseases of the pancreas and urinary system, traumatic injuries of the musculoskeletal system, etc.

Remote infrared thermography, as one of the methods of radiation diagnostics, in the system of comprehensive diagnostic measures additionally provides doctors of almost all specialties with important information about the presence and severity of detected pathologies before surgical intervention.

Given the ease of use, mobility, significant informativeness and efficiency, it is advisable to introduce the method of remote infrared thermography into the system of comprehensive diagnostic measures at various stages of providing medical care to military personnel.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Prospects for further research.** Prospects for further research include the use of the remote infrared thermography method in the postoperative period to determine the course of wound regeneration, as well as monitoring the health of servicemen after identified pathological conditions during thermographic examination and appropriate treatment. Special attention will be paid to the study of the state of health of servicemen after mine-explosive injuries, complications after diseases of the bronchopulmonary system, neuropathy. Actual and promising work on expanding the information base of thermographic visualizations of identified pathological conditions, which can be used by doctors of almost all specialties in medical practice.

**Funding information.** The authors declare the absence of their own financial interest in the preparation of this article.

**Author's contribution.** Each of the authors took an equal part in determining the topic of the article, in selecting patients,



conducting thermographic examinations, analyzing and discussing the results of the work, processing literary sources and preparing the obtained materials for publication.

## References

- Ostafiychuk, D. I., Shaiko-Shaikovsky, O. S., Bilov, M. E., & Chibotaru, K. I. (2019). Thermography, application in medicine. *Clinical & Experimental Pathology*, 18 (1). <https://doi.org/10.24061/1727-4338.xviii.1.68.2019.21>
- Keszytüs, D., Brucher, S., Wilson, C., & Keszytüs, T. (2023). Use of infrared thermography in medical diagnosis, screening, and disease monitoring: A scoping review. *Medicina*, 59 (12), 2139. <https://doi.org/10.3390/medicina59122139>
- Oliynyk, G. A. (2018). Thermal radiation and thermal imaging research in medicine. *Ukrainian medical dental academy*, 18 (2 (62)), Article [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apsm\\_2018\\_18\\_2\\_61](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apsm_2018_18_2_61).
- Requena-Bueno, L., Priego-Quesada, J. I., Jimenez-Perez, I., Gil-Calvo, M., & Pérez-Soriano, P. (2020). Validation of ThermoHuman automatic thermographic software for assessing foot temperature before and after running. *Journal of Thermal Biology*, 92, 102639. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102639>
- Ramirez-GarcíaLuna, J. L., Bartlett, R., Arriaga-Caballero, J. E., Fraser, R. DJ, & Saiko, G. (2022). Infrared thermography in wound care, surgery, and sports medicine: A review. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.838528>
- Kolacz, S., Moderhak, M., & Jankau, J. (2017). New perspective on the in vivo use of cold stress dynamic thermography in integumental reconstruction with the use of skin-muscle flaps. *Journal of Surgical Research*, 212, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.12.022>
- Glik, J., Cholewka, A., Stanek, A., Englisz, B., Sieroń, K., Mikuś-Zagórska, K., Knefel, G., Nowak, M., Kawecki, M. (2019). Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med*, 28(2), 229–236. <https://doi.org/10.17219/acem/92304>. PMID: 30238703.
- Stoyanovsky, I. V., Khimich, S. D., Chemerys, O. M. (2024). Effectiveness using infrared thermography for diagnostics necrotizing fasciitis. *Surgery children's century*, (3(84)), 38–43. [https://doi.org/10.15574/PS.2024.3\(84\).3843](https://doi.org/10.15574/PS.2024.3(84).3843)
- Carrière, M. E., Haas, L. EM, Pijpe, A., Meij-de Vries, A., Gardien, K. LM, Zuijlen, P. PM, & Jaspers, M. EH (2019). Validity of thermography for measuring burn wound healing potential. *Wound Repair and Regeneration*, 28(3), 347–354. <https://doi.org/10.1111/wrr.12786>
- Sillero-Quintana, M., Fernández-Jaén, T., Fernández-Cuevas, I., Gómez-Carmona, PM, Arnaiz-Lastras, J., Pérez, M.-D., Guillén, P. (2015). Infrared thermography as a support tool for screening and early diagnosis in emergencies. *J. Med. Imaging Health Inform.*, (5), 1223–1228. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2072-6.ch008>
- Damião, C. P., Montero, J. RG, Moran, M. BH, de Oliveira Marçal e Silva Carvalho, M. E., de Farias, C. G., Brito, I. B., Saad, M. AN, Fontes, C. AP, Fainstein, C., Rodrigues, M. FO, Palombo, A., Conci, A., da Cruz Filho, R. A., & Lima, G. AB. (2021). Application of thermography in the diagnostic investigation of thyroid nodules. *Endocrine Journal*, 68 (5), 573–581. <https://doi.org/10.1507/endocrj.ej20-0541>
- Poliachenko, Y. V., Blonskyi, R. I., Kostrub, O. O., Dunaievskiy, V. I., Kotovskiy, V. Y., & Timofeiev, V. I. (2024). Research of the temperature patterns distribution of pathological conditions of the knee joints. *World of Medicine and Biology*, 20 (89), 142. <https://doi.org/10.26724/2079-8334-2024-3-89-142-148>
- Dunaievsky, V., Kotovskiy, V., Nazarchuk, S., Kyslyi, V. (2021). Expanding the modern approaches of diagnostics of the state of a biological object by introducing infrared thermography. National Health as Determinant of Sustainable Development of Society: Monograph / Ed. By N. Dubrovina, St. Filip. Bratislava, 35–55. [https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/37505/3/Mono\\_VSEMvsMED2021.pdf](https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/37505/3/Mono_VSEMvsMED2021.pdf)
- Grechanik, O. I., Abdullaiev, R. R., Nikonov, V. V., Voronzhev, I. O., Abdullaiev, R. Y., & Davidy, M. M. (2024). Radiologic diagnosis of pneumothorax in combat trauma. *Emergency Medicine*, 20 (3), 203–210. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.3.2024.1693>
- Brzezinski, R. Y., Rabin, N., Lewis, N., Peled, R., Kerpel, A., Tsur, A. M., Gendelman, O., Naftali-Shani, N., Gringauz, I., Amital, H., Leibowitz, A., Mayan, H., Ben-Zvi, I., Heller, E., Shechtman, L., Rogowski, O., Shenhar-Tsarfaty, S., Konen, E., Marom, E.M., ... Hoffer, O. (2021). Automated processing of thermal imaging to detect COVID-19. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96900-9>
- Feshchenko, Y. (2021). Features damage lungs in COVID-19. *Ukr. Pulmonol. Journal*, (1), 5–14. <https://doi.org/10.31215/2306-4927-2021-29-1-5-14>
- Cai, F., Jiang, X., Hou, X., Wang, D., Wang, Y., Deng, H., Guo, H., Wang, H., & Li, X. (2020). Application of infrared thermography in early warning of pressure injury: A prospective observational study. *Journal of Clinical Nursing*. <https://doi.org/10.1111/jocn.15576>
- Krysa, B. V., Krysa, V. V. (2024). Distance thermography for obliterating diseases lower limbs *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Diversity and Inclusion in Scientific Area"*, (March 26-28, 2024, Warsaw, Poland.), 348–356.
- Menegatti, E., Mandini, S., Pagani, A., Mandini, B., Zerbini, V., Piva, T., Raisi, A., Fabbri, M., Fogli, M., Mazzoni, G., Zamboni, P., & Gianesini, S. (2022). The effect of active stretching training in patients with chronic venous insufficiency monitored by raster-stereography. *Sensors*, 22 (21), 8509. <https://doi.org/10.3390/s22218509> PMID: 36366206; PMCID: PMC9657419.
- Deng, F., Tang, Q., Zeng, G., Wu, H., Zhang, N., & Zhong, N. (2015). Effectiveness of digital infrared thermal imaging in detecting lower extremity deep venous thrombosis. *Medical Physics*, 42 (5), 2242–2248. <https://doi.org/10.1118/1.4907969>
- Ilo, A., Romsis, P., & Mäkelä, J. (2020). Infrared thermography as a diagnostic tool for peripheral artery disease. *Advances in Skin & Wound Care*, 33 (9), 482–488. <https://doi.org/10.1097/01.asw.0000694156.62834.8b>
- De Marziani L, Boffa A, Angelelli L, Andriolo L, Di Martino A, Zaffagnini S, Filardo G. (2023). Infrared thermography in symptomatic knee osteoarthritis: Joint temperature differs based on patient and pain characteristics. *J Clin Med.*, (12(6)), 2319. PMID: 36983319; PMCID: PMC10055129.
- Jones, B., Hassan, I., Tsuyuki, R. T., Dos Santos, M. F., Russell, A. S., & Yacyshyn, E. (2018). Hot joints: Myth or reality? A thermographic joint assessment of inflammatory arthritis patients. *Clinical Rheumatology*, 37 (9), 2567–2571. <https://doi.org/10.1007/s10067-018-4108-0>
- Windisch, C., Brodt, S., Roehner, E., & Matziolis, G. (2015). Regional differences in temperature course after knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24 (8), 2686–2691. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3809-z>
- Khomenko, I. P., Tsema, E. V., Shapovalov, V. Yu., Tertyshny, S. V., Grinchuk, M. M. (2018). Diagnostic opportunities spectral infrared thermography in treatment firearms injuries soft tissue. *Integrative Anthropology*, (2(32)), 43–47. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ia\\_2018\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ia_2018_2_10)
- Khomenko, I., Tsema, Y., Gumenuk, K., Tertyshnyi, S. (2020). Creation Concept of The rmographic Classification of Gunshot Wounds of Soft Tissues. *World Science*, 1 (4(56)), 32–36.

- [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30042020/7022](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30042020/7022)
27. Chyzh, M. O., Kovalov, H. O., Shustakova, H. V., Fomenko, Y. V., & Gordiyenko, E. Y. (2023). The procedure of thermal imaging control of the temperature fields on the skin during cryoablation. *The Odessa Medical Journal*, (4), 88–93. <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2023-4-17>
28. Khoroshun, E. M., Makarov, V. V., Nehoduiko, V. V., Shipilov, S. A., Klapchuk, Y. V., & Tertyshnyi, S. V. (2023). Problems of diagnosis and treatment of tourniquet syndrome in gunshot wounds of the upper and lower extremities. *Paediatrics Surgery. Ukraine*, (3(80)), 83–91. <https://doi.org/10.15574/ps.2023.80.83>

Стаття надійшла до редакції 29.01.2025	Отримано після рецензування 25.02.2025	Прийнято до друку 27.02.2025
---	---	---------------------------------

## ДИСТАНЦІЙНА ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ В СИСТЕМІ КОМПЛЕКСНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ПЕРЕД ОПЕРАТИВНИМ ВТРУЧАННЯМ

О. О. Коструб<sup>1</sup>, О. І. Шукало<sup>1</sup>, В. І. Дунаєвський<sup>2</sup>, В. І. Котовський<sup>3</sup>, В. І. Тимофеев<sup>3</sup>, С. С. Назарчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

<sup>2</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ

<sup>3</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

✉ Oleksandr Kostrub, MD, DMSci, Prof.: [akostrub@ukr.net](mailto:akostrub@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0001-7925-9362>

✉ Oleksandr Shukalo: [shukalooleksandr@gmail.com](mailto:shukalooleksandr@gmail.com)

✉ Vadim Dunaevsky, PhD: [dunayevskani@ukr.net](mailto:dunayevskani@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0002-2106-9520>

✉ Vitaliy Kotovsky, DSci, Prof.: [kotovsk@kpi.ua](mailto:kotovsk@kpi.ua); <https://orcid.org/0000-0003-3372-7815>

✉ Volodymyr Tymofeev, DSci, Prof.: [v.timofeev@kpi.ua](mailto:v.timofeev@kpi.ua); <https://orcid.org/0000-0003-0515-1580>

✉ Svitlana Nazarchuk: [nazarchuksvet@gmail.com](mailto:nazarchuksvet@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3794-609X>

УДК 616.728.4-089.881:616-001.45](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025113-20>

## Артродез надп'ятково-гомількового суглоба після вогнепальних поранень

**В. М. Пятковський<sup>1</sup>, О. А. Турчин<sup>1</sup>, Т. М. Омельченко<sup>2</sup>,  
Т. А. Євлантьєва<sup>1</sup>, В. С. Харчик<sup>1</sup>, А. П. Лябах<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

<sup>2</sup> Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, Київ, Україна

*Combat related injuries of the ankle joint (AJ) are often accompanied by severe changes in the musculoskeletal system, which require arthrodesis of the damaged joints in the final stage of treatment. Objective. To analyze the results of AJ arthrodesis in patients after combat related injuries, to highlight aspects of the use of different fixation methods. Methods. AJ arthrodesis was performed in 21 patients with the consequences of severe combat related injuries of the posterior part of the foot. An intramedullary locked rod (18 patients), screws (2 patients) and an Ilizarov-type external fixation device (EFD) were used for fixation in one patient. The results were assessed no earlier than 6 months after the start of loading using the AOFAS (posterior part), SMFA (short musculoskeletal functional assessment) and EQ-5D-5L (mobility, self-care, usual activity, pain, anxiety, VAS) scales and questionnaires. Results: In the specified terms, the results were traced in 21 patients. A differential approach was used in choosing the method of fixation of the AJ. A significant increase in function was obtained according to the AOFAS, SMFA and EQ-5D-5L scales ( $p < 0.001$ ). Conclusions. AJ arthrodesis in patients with the consequences of severe combat related injuries allows to restore the resistance of the limb and is the final stage of treatment of these patients. Keywords. Combat related injuries, ankle joint, arthrodesis, resistance of the limb.*

*Бойові поранення нижньої кінцівки, в тому числі ділянки надп'ятково-гомількового суглоба (НГС), є найчастішими на полі бою й зазвичай супроводжуються тяжкими змінами опорно-рухової системи. Ортопедичні реконструктивні втручання є фінальним етапом лікування уражень цієї ділянки і направлені на виконання артродезу через тяжкі внутрішньосуглобові ушкодження НГС, що супроводжуються післятравматичним остеоартрозом із вираженим больовим синдромом. Мета. Проаналізувати результати артродезу НГС у хворих після вогнепальних поранень, висвітлити аспекти застосування різних способів фіксації. Методи. Проведений артродез НГС у 21 пацієнта з наслідками тяжких вогнепальних поранень заднього відділу стопи. Вік постраждалих становив  $(38,1 \pm 10,9)$  року, жінок було 2, чоловіків — 19. Застосували для фіксації інтрамедулярний блокований стрижень (18 осіб), гвинти (2) та в одного — апарат зовнішньої фіксації (АЗФ) типу Ілізарова. Методика артродезу НГС передбачала виконання двох доступів: латерального та медіального, останній здійснювали за необхідності. Результати оцінювали не раніше 6 міс. після початку навантаження за шкалами та опитувальниками AOFAS (задній відділ), SMFA (short musculoskeletal functional assessment) та EQ-5D-5L (мобільність, самообслуговування, звичайна активність, біль, тривога, VAS). Результати. У зазначені терміни результати оцінювали у 21 пацієнта. Застосовували диференційний підхід у виборі метода фіксації НГС. Незадовільний результат отримано в 1 випадку, відповідно до AOFAS, але згідно з шкалами SMFA та якості життя EQ-5D-5L відмічено суттєве покращення показників самообслуговування пацієнта через 6 міс. Зафіксовано достовірний приріст функції за шкалами AOFAS, SMFA та EQ-5D-5L ( $p < 0,001$ ). Висновки. Артродез НГС у осіб із наслідками тяжких поранень дозволяє відновлювати опороздатність кінцівки та є фінальним етапом лікування цих пацієнтів.*

**Ключові слова.** Вогнепальне поранення, надп'ятково-гомільковий суглоб, артродез, опороздатність кінцівки

## Вступ

Бойове ушкодження сьогодення є тяжкою травмою через високу кінетичну енергію снарядів та застосування широкої номенклатури засобів ураження. Усі вогнепальні поранення можна розділити на кульові та мінно-вибухові (мінно-вибухова травма, МВТ) із високою, середньою та низькою енергією впливу на організм людини, що залежить від багатьох чинників. За МВТ ураження відбувається як внаслідок безпосереднього контакту з вибуховим пристроєм, так і через поранення елементами (осколки, шрапнель тощо). Також тяжка травма може бути і без безпосереднього контакту зі снарядом (пристроєм), тобто внаслідок дії вибухової хвилі на захисні елементи та їхній прямий травмуючий вплив на людину (наприклад, підрив у машині без проникнення осколків у салон) [1].

Поранення нижньої кінцівки є найчастішими на полі бою [2, 3, 4]. Водночас вогнепальні ураження гомілки та стопи відбуваються в 26 % випадків із перевалюванням кульових поранень над вибуховою травмою [5].

Ураження ділянки надп'ятково-гомілкового суглоба (НГС) мають свої особливості через невеликий об'єм м'яких тканин коло кістки та суглоба, що, наприклад, у 80 % випадків кульових поранень призводить до переломів кісток із переважанням внутрішньосуглобових ушкоджень та травмою судинно-нервових стовбурів [6]. Відповідною проблемою поранень у ділянці НГС є питання збереження нижньої кінцівки або виконання первинної ампутації. Окремо частоту ушкоджень НГС відстежити в літературі нам не вдалось [5, 7, 8].

Ортопедичні реконструктивні втручання є фінальним етапом лікування уражень цієї ділянки і направлені на виконання артродезу через тяжкі внутрішньосуглобові ушкодження НГС, що супроводжуються післятравматичним остеоартрозом із вираженим больовим синдромом [9]. Для фіксації НГС після вогнепальних поранень широко прийнятим є застосування апаратів зовнішньої фіксації (АЗФ), особливо засобів на кільцевих опорах типу Ілізарова [9, 10], що пов'язано з мікробною контамінацією тканин. Незрозумілою є можливість застосування інших методів фіксації та частота ускладнень під час їх застосування. Терміни зрощення ділянки НГС у разі використання різних способів кріплення спостерігаються в середньому через 8–12 тижнів [11], а кісткове зрощення відбувається в 69–77 % випадків [12],

що може потребувати повторних хірургічних втручань.

*Мета:* провести аналіз результатів артродезу надп'ятково-гомілкового суглоба у хворих після вогнепальних поранень, висвітлити аспекти застосування різних методів фіксації.

## Матеріал і методи

Наведено результати лікування 21 пацієнта із наслідками тяжких поранень ділянки НГС, які були госпіталізовані в клініку в ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ з 2014 по 2024 р. Дослідження схвалене комісією з біоетики ДУ «ІТО НАМН України» (протокол № 2 від 07.02.2025 р). Дослідження виконано з дотриманням вимог і положень Гельсинської декларації про права людини (2000 р.), включаючи перегляд ЕС-GCP, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я (1992 р.), усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень. Усі пацієнти підписали інформовану згоду.

Основна кількість хворих (18 осіб, 86 %) отримали поранення після початку повномасштабного вторгнення російської федерації 24 лютого 2022 р. Серед них 2 (9,5 %) цивільних. Вік пацієнтів становив  $(38,1 \pm 10,9)$  років, жінок було 2, чоловіків — 19.

Пацієнти отримували лікування на етапах евакуації згідно з правилами надання медичної допомоги пораненим. На момент госпіталізації вони не мали ран і клінічних ознак інфекції. У дослідження не включали хворих із наслідками легких поранень ділянки НГС та тих, кому була показана висока ампутація нижньої кінцівки.

Виконували артродез НГС із фіксацією гвинтами, інтрамедулярним блокованим стрижнем, із застосуванням апарата зовнішньої фіксації. Оцінювали функцію нижньої кінцівки до- та після хірургічного лікування за шкалою AOFAS (сегмент НГС та задній відділ стопи (ЗВС)), SMFA (Short musculoskeletal function assessment) й опитувальником якості життя EQ-5D-5L. Дані заносили в електронні таблиці Excel, розраховували достовірність різниці середніх за допомогою парного двовибіркового t-тесту. Оцінювання результатів проводили не раніше ніж через 6 міс. після початку навантаження кінцівки після операції.

Додатково аналізували тип травми (мінно-вибухова або кульова), ступінь ушкодження тканин за класифікацією Gustilo-Anderson, час від моменту поранення до реконструктивного хірургічного втручання, кількість попередніх операцій,



наявність інфекційного процесу на попередніх етапах лікування або після проведеного реконструктивного втручання.

## Результати

Тяжкі випадки вогнепальних поранень НГС характеризуються суттєвою дезінтеграцією анатомії цієї ділянки (рис. 1), опорна функція в такому разі досягається шляхом артродезу ушкоджених суглобів.

Методика артродезу НГС передбачала виконання двох доступів: латерального та медіального, останній здійснювали за необхідності. Особливістю доступів після поранень НГС є наявність післятравматичних рубців, які можуть бути достатньо великими за площею, різними за локалізацією, і залежить від характеру поранення, методів лікування та закриття дефектів м'яких тканин. У нашому дослідженні виконати латеральний доступ до НГС не було можливим у 2-х поранених (10 % випадків), тому основний — медіальний, через значні рубцеві зміни латеральної поверхні НГС. Обов'язковою була резекція латеральної кісточки, яку згодом могли використати для пластики кісткових дефектів, у 2-х пацієнтів її не проводили через ушкодження цієї кісточки. Далі виконували економну резекцію суглобових кінців НГС великогомілкової та таранної кісток у такій площині, щоб була можливість встановити стопу під  $90^\circ$  до осі гомілки та в нейтральну позицію задній відділ стопи до опорної поверхні.

Здебільшого ми застосували для фіксації інтрамедулярний блокований стрижень (ІБС) (18 із 21 випадка), через наявні дефекти кісткової тканини ділянки поранення, складну дезінтеграцію анатомічних структур (не лише НГС, а і всього заднього відділу стопи) із суттєвими змінами

в підтаранному суглобі. У 6 пацієнтів (29 % випадків) діагностовано значний дефект великогомілкової або таранної кісток ділянки НГС, але заміщення кісткового дефекту застосували 4 (19 % випадків). У 2 із наявними дефектами стабільності кріплення досягли шляхом використання інтрамедулярної фіксації стрижнем без кісткової аутопластики. В 2 пацієнтів встановлювали для фіксації НГС гвинти (без закріплення підтаранного суглоба), оскільки у хворих був швидкий розвиток післятравматичного остеоартрозу НГС після поранення, але відсутні аваскулярні зміни як таранної кістки, так і дегенеративні підтаранного суглоба. У 1 особи для фіксації використали стрижньовий АЗФ на кільцевих опорах типу Ілізарова через прояв у період госпіталізації та підготовки до хірургічного втручання клінічних ознак інфекції. Фіксація АЗФ була в стабілізаційному варіанті без подальшої корекції фрагментів, оскільки площина резекції суглобових поверхонь передбачала встановлення стопи під кутом  $90^\circ$  до гомілки з щільним контактом поверхонь.

У разі фіксації ІБС дозване навантаження на кінцівку розпочинали через 4–5 тижнів після динамізації фіксатора, за умов гвинтів — через 8 тижнів, а за АЗФ — через 12 тижнів, коли були відмічені ознаки зрощення. Наявність дефекту та кісткова аутопластика під час хірургічного втручання не впливали на терміни початку дозованого навантаження за фіксації ІБС.

Основна кількість пацієнтів мала наслідки мінно-вибухової травми з осколковим пораненням (табл. 1), що є результатом сучасних воєн із застосуванням снарядів вибухової дії. У нашому дослідженні відсутні наслідки кульових поранень, але це скоріше виключення, ніж правило, оскільки кульові поранення над'яtkово-гомілкового суглоба звичайно ж трапляються на полі бою [3].



**Рис. 1.** Фото рентгенограм та зовнішній вигляд хворого Г. із наслідками осколкового поранення НГС та заднього відділу стопи

Тяжкі ушкодження НГС спостерігали за МВТ, які виникали в разі підриву в автомобілі без проникнення осколків, а також під час поранення на міні типу «пелюстка». Слід зазначити, що останній варіант ушкодження не приводив до ампутації нижньої кінцівки за умов застосування військовослужбовцями взуття з відповідним класом захисту від подібних мін.

Серед особливостей вогнепальних поранень є травмування м'яких тканин, сухожилків, судин і нервів, первинна контамінація ран мікроорганізмами, що потребує відповідної тактики з етапними хірургічними втручаннями. У нашому дослідженні кількість попередніх операцій коливалась від 1 до 8, у середньому ( $4,7 \pm 2,6$ ). Усі вони були направлені на стабілізацію кісток, профілактику

інфекції, етапні некректомії та вторинне закриття дефекту тканин. Відповідним чином час від поранення до реконструктивного втручання займав у середньому ( $10,8 \pm 6,9$ ) міс. (від 1 до 30 міс.). Під час проведення реконструкції у 11 з 21 пацієнта (52 %) відмічали еквінусну установку стопи, яка не дозволяла повноцінно навантажувати кінцівку та достатньо оцінити можливість одноопорного її навантаження.

Нами отримано добрі анатоми-функціональні результати, урахувавши показники шкал AOFAS (сегмент для НГС та ЗВС) та SMFA, а також дані результатів опитувальника якості життя EQ-5D-5L (таблиця 2 і 3), зі суттєвим приростом функції через 6 міс. від початку навантаження кінцівки після операції.

Таблиця 1

**Розподіл пацієнтів за характером поранення, типом ушкодження НГС за класифікацією Gustilo-Anderson, кількістю попередніх хірургічних втручань і наявністю клінічної інфекції в анамнезі**

№ з/п	Тип поранення	G-A	Час до артродезу НГС, міс.	Кількість попередніх втручань	Наявність клінічної інфекції в анамнезі
1	МВТ (осколкове)	II	9	6	—
2	МВТ (осколкове)	II	10	3	—
3	МВТ (осколкове)	III-A	9	5	—
4	МВТ (осколкове)	II	13	1	—
5	МВТ (міна)	III-A	30	1	—
6	МВТ (осколкове)	II	4	7	—
7	МВТ (осколкове)	II	8	3	—
8	МВТ (осколкове)	II	10	5	—
9	МВТ (осколкове)	II	5	4	—
10	МВТ (осколкове)	III-A	9	8	так
11	МВТ (осколкове)	II	11	8	—
12	МВТ (міна)	III-A	2	7	—
13	МВТ (міна)	—	1	4	—
14	МВТ (осколкове)	II	12	5	—
15	МВТ (осколкове)	III-A	24	7	—
16	МВТ (підрив у машині)	—	10	1	—
17	МВТ (осколкове)	III-A	8	8	так
18	МВТ (осколкове)	III-A	10	7	—
19	МВТ (підрив у машині)	II	21	1	—
20	МВТ (осколкове)	II	11	6	—
21	МВТ (осколкове)	III-A	8	5	так

Таблиця 2

**Середні показники функції нижньої кінцівки за шкалами AOFAS і SMFA до- та після хірургічного лікування із порівнянням різниці середніх**

Шкала	До операції (n = 21)	Після операції (n = 21)	p (за $\alpha = 0,05$ )
AOFAS	$24,6 \pm 16,3$	$79,8 \pm 10,5$	$p < 0,001$
SMFA	$126,5 \pm 19,4$	$46,7 \pm 14,5$	$p < 0,001$

Інфекційні ускладнення в післяопераційному періоді спостерігали у 2 хворих (9,5 %). В одному випадку після дренивання патологічного вогнища та таргетної антибіотикотерапії інфекційний процес купований, рана загоїлась вторинним натягом. У іншого пацієнта після 6 міс. спостереження та зрощення по місцю резекції НГС був видалений металофіксатор, а інфекційний процес переведений у стадію ремісії (рис. 2).

#### Клінічний приклад

Пацієнт Г., 36 р., військовослужбовець. У зоні АТО (2015 р.) унаслідок МВТ (наступив лівою ногою на протипіхотну міну) сталося відчленування лівої стопи та відкриті уламкові переломи ділянки правого НГС (Gustilo-Anderson IIIA) кісток та пальців стопи. Етапне лікування, фінальна ампутація лівої нижньої кінцівки на рівні проксимальної третини гомілки, успішно протезований. Відкриті ушкодження правої нижньої кінцівки були загоєні, зрощення перелому правого НГС не сталося, через користування ногою утворилася варусна деформація та суттєво прогресував деформуючий артроз. Повноцінне навантаження кінцівки неможливе. Госпіталізація й обстеження в клініці ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України». Був проведений резекційний артродез

НГС з інтрамедулярною фіксацією блокованим ретроградним гомілковим стрижнем у динамічному варіанті блокування. Післяопераційний період без особливостей, через 1,5 міс. пацієнт почав навантаження в ортезі «Чобіт», ще через місяць — без обмежень. Огляд через 6 міс.: ходить без додаткової опори, повноцінне навантаження на праву нижню кінцівку (рис. 3).

#### Обговорення

Вогнепальні внутрішньосуглобові переломи НГС характеризуються вираженими післятравматичними змінами, які супроводжуються розвитком остеоартрозу та потребують реконструктивних втручань, спрямованих на знерухомлення суглоба із встановленням стопи у функціонально вигідне положення [9, 13]. Це дає покращення функції кінцівки, незважаючи на відсутність повного відновлення.

У нашому дослідженні незадовільний результат був отриманий в 1 випадку, відповідно до AOFAS, але згідно з шкалами SMFA та якості життя EQ-5D-5L відмічений суттєвий приріст за показниками самообслуговування пацієнта через 6 міс. після початку навантаження кінцівки, водночас відновлення функції у пацієнта ще триває.

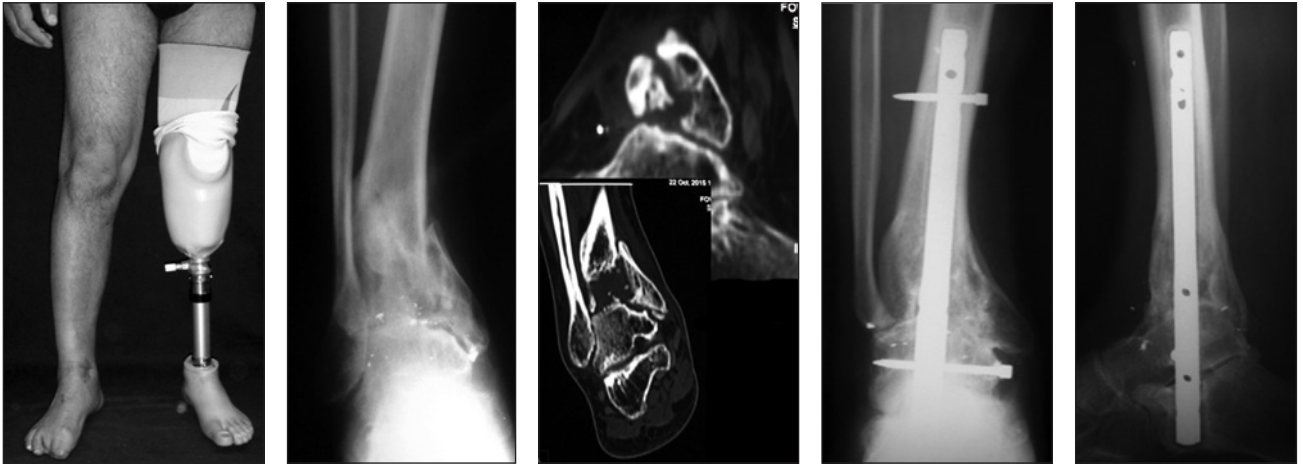
Таблиця 3

Середні значення по показникам EQ-5D-5L до- та після хірургічного лікування із порівнянням різниці середніх

EQ-5D-5L	До операції (n = 21)	Після операції (n = 21)	p (при $\alpha = 0,05$ )
Мобільність	3,9 ± 0,8	2,1 ± 0,5	p < 0,001
Самообслуговування	2,9 ± 1,1	1,5 ± 0,6	p < 0,001
Звичайна активність	3,8 ± 0,9	2,2 ± 0,6	p < 0,001
Біль	3,8 ± 0,9	2,1 ± 0,6	p < 0,001
Тривога/депресія	2,6 ± 0,9	1,4 ± 0,5	p < 0,001
VAS	53,4 ± 14,8	81 ± 6,0	p < 0,001



Рис. 2. Фото рентгенограм та зовнішній вигляд хворого Г. після реконструктивно-відновного лікування та видалення металофіксатора



**Рис. 3.** Фото рентгенограм, комп'ютерних сканів та зовнішній вигляд хворого Г. до- та після реконструктивно-відновного лікування на правій нижній кінцівці

Тому ми використовували в оцінці результатів також і пацієнт-орієнтовані шкали. Якщо ж брати до уваги лише шкалу AOFAS, то за кількістю добрих, позитивних і негативних результатів наше дослідження співпадає зі спостереженнями останніх років від іноземних фахівців [9, 13].

Із аналізу нами виключено пацієнтів, де за сутою ознак і відсутніми перспективами реконструктивно-відновного лікування була показана висока ампутація нижньої кінцівки (АНК). Незважаючи на можливе небажання хворого та лікарів щодо виконання АНК, результати реконструктивних втручань у таких випадках навіть у разі досягнення загоєння ран і консолидації кісток, не дають суттєвого приросту функції кінцівки, що підтверджується відповідними дослідженнями [10, 14, 15].

Залежно від типу ушкодження НГС, основними є мінно-вибухові (осколкові, за безпосереднього контакту із мінами та в разі підриву в автомобілі) і кульові поранення. При цьому перші частіше зустрічаються в разі бойових дій на відкритій та в сільській місцевості [3], що може пояснити відсутність наслідків кульових поранень у нашій роботі.

Додатковою проблемою у пацієнтів є розвиток еквінусної установки стопи, яка унеможливує навантаження на всю її поверхню після поранення. Профілактика розвитку такої установки на етапах лікування в низці випадків дозволяє уникнути ортопедичних хірургічних втручань, оскільки руйнація хряща від поранення може самовільно призвести до анкілозування суглоба. Якщо фіксувати кінцівку після зняття АЗФ в ортезі або гіпсовій пов'язці, можна отримати бажаний

кут  $90^\circ$  для досягнення опороздатності кінцівки й уникнути подальших хірургічних втручань.

Під час лікування пацієнтів із наслідками вогнепальних поранень ділянки НГС нами застосовано диференційний підхід у виборі метода фіксації, який був направлений на досягнення опороздатності із максимальним збереженням функції кінцівки. Такий підхід аналогічний підходу до лікування наслідків травматичних ушкоджень НГС [11].

Для лікування післятравматичних змін у суглобах, які розвинулись унаслідок вогнепального поранення, багато авторів вважають за доцільне застосування лише АЗФ різних модифікацій [6, 9, 10, 13]. Незважаючи на контамінацію тканин мікроорганізмами під час поранення, використання внутрішньої фіксації можливе, вона не дає більшої кількості ускладнень, як порівняти з іншими методами [16, 17]. Застосування ІБС у випадках наявних кісткових дефектів у цих хворих дає надійну фіксацію та дозволяє розпочинати ранню реабілітацію та навантаження кінцівки. Особливо це важливо зважаючи на строки від моменту поранення до виконання артродезу НГС (табл. 1), оскільки тривала відсутність навантаження кінцівки негативно впливає на відновлення її функціональності. Післяопераційні ускладнення за внутрішньої фіксації в нашому дослідженні були в 2 випадках, при цьому видалення фіксатора виконано в одного пораненого, що не вплинуло на загальний результат, оскільки було досягнуто кісткове зрощення. Такі ускладнення та їхня кількість не виходять за межі відомих даних під час лікування пацієнтів із наслідками відкритих переломів із застосуванням різних методів фіксації [12], тому вважаємо, що ІБС не протипока-



заний і є можливим для застосування у хворих із наслідками вогнепальних поранень за фіксації НГС. У роботі Век та ін. [9], де для фіксації НГС використовували АЗФ, вони вказують на наявність попередніх операцій у пацієнтів із наслідками вогнепальних поранень заднього відділу стопи, що передували артрорезу НГС. Ці втручання були направлені на артрорез суміжних із НГС суглобів, ушкоджених під час поранення. У нашому дослідженні саме застосування ІБС дозволяло вирішити питання одномоментної стабілізації НГС та підтаранного суглоба у випадках, де було ушкодження і таранної, і п'яркової кісток, а це складало 2/3 випадків наслідків вогнепальних поранень, що робить застосування ІБС ще більш доцільним у пацієнтів із наслідками вогнепальних поранень НГС.

У тих випадках, де були відсутні аваскулярні зміни таранної кістки, тяжкі дегенеративні зміни підтаранного суглоба — абсолютно виправданим є блокування лише НГС (фіксація гвинтами або поєднання гвинтів та пластини). Важливим є максимальне збереження рухливості заднього відділу стопи, а рухливість підтаранного та поперекового суглоба заплесна забезпечують 30 % амплітуди рухів ЗВС, що дозволяє залишити значну частку рухової активності людини.

За наявності клінічних ознак інфекції ділянки НГС нами застосовано для фіксації АЗФ на кільцевих опорах типу Ілізарова. Беззаперечно АЗФ є прийнятним варіантом у разі наявних інфекційних процесів у ділянці хірургічного втручання. При цьому можливий вибір типів АЗФ є досить широким та дозволяє виконувати низку завдань під час лікування пацієнтів із подібними проблемами. У нашому спостереженні ми дочекались наявних ознак кісткового зрощення перед початком навантаження у цього хворого через виражені остеопоротичні зміни кісток стопи та побоювання розвитку остеолізу навкруги стрижнів, але застосування АЗФ дозволяє розпочинати раннє навантаження на оперовану кінцівку [18], що є актуальним під час лікування цієї категорії пацієнтів, як було зазначено вище.

## Висновки

Фінальним етапом лікування наслідків тяжких вогнепальних поранень ділянки НГС за наявності перспективи відновлення функції кінцівки є виконання артрорезу цього суглоба. Тяжка дезінтеграція його анатомії, а також підтаранного суглоба у поєднанні з наявними дефектами кісткової тканини, робить варіант фіксації

за допомогою ІБС пріоритетним під час проведення хірургічного втручання. Дуже важливою є швидка реабілітація цих хворих, оскільки строки лікування після поранення розтягнуті в часі та негативно впливають на відновлення функції травмованої кінцівки. Водночас для фіксації НГС у таких пацієнтів має бути застосований диференційний підхід, який дозволяє досягти максимально можливого функціонального результату.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Поглиблене вивчення віддалених наслідків поранень і результатів лікування цих пацієнтів.

**Інформація про фінансування.** Це дослідження не є комерційним і не має стороннього фінансування.

**Внесок авторів.** Лях А. П. — ідея та концепція дослідження, оцінка результатів дослідження, формулювання висновків; Пятковський В. М. — структура та написання роботи, формулювання методів дослідження; Турчин О. А. — зведення даних результатів дослідження, статистична обробка результатів; Омельченко Т. М. — оцінка результатів й обговорення результатів дослідження; Євлантьєва Т. А. — літературний пошук, оформлення літературних джерел; Харчик В. С. — вибірка пацієнтів, обробка медичної документації, зведення даних у таблиці Excel.

## Список літератури

1. Powers, D. B., & Delo, R. I. (2013). Characteristics of ballistic and blast injuries. *Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics*, 21(1), 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.cxom.2012.12.001>
2. McIntyre, J. (2020). Syrian civil war: a systematic review of trauma casualty epidemiology. *BMJ Mil Heal*, 166(4), 261–265. <https://doi.org/10.1136/jramc-2019-001304>
3. Wild, H., Stewart, B. T., LeBoa, C., Stave, C. D., & Wren, S. M. (2020). Epidemiology of injuries sustained by civilians and local combatants in contemporary armed conflict: An appeal for a shared trauma registry among humanitarian actors. *World journal of surgery*, 44(6), 1863–1873. <https://doi.org/10.1007/s00268-020-05428-y>
4. Penn-Barwell, J. G., Brown, K. V., & Fries, C. A. (2015). High velocity gunshot injuries to the extremities: Management on and off the battlefield. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 8(3), 312–317. <https://doi.org/10.1007/s12178-015-9289-4>
5. Mohamed, A. Y., Ibrahim, H. S., Taşkoparan, H., & Ibrahim, Y. B. (2023). Epidemiological characteristics and comparative outcome of blast versus gunshot injuries of the extremities in Somalia. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03527-9>
6. Gonzalez, T., Briceno, J., Velasco, B., Kaiser, P., Stenquist, D., Miller, C., & Kwon, J. Y. (2020). Gunshot-related injuries to the foot & Ankle: Review article. *Foot & ankle international*, 41(4), 486–496. <https://doi.org/10.1177/1071100720901712>
7. Covey, D. C. (2006). Combat orthopaedics: A view from the trenches. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 14(Supplement), S10–S17. <https://doi.org/10.5435/00124635-200600001-00004>
8. Dougherty, A. L., Mohrle, C. R., Galarneau, M. R., Woodruff, S. I., Dye, J. L., & Quinn, K. H. (2009). Battlefield extremity injuries in operation Iraqi freedom. *Injury*, 40(7), 772–777. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2009.02.014>
9. Bek, D., Demiralp, B., Kürklü, M., Ateşşalp, A. S., & Başşbozkurt, M. (2008). Ankle arthrodesis using an Ilizarov external fixator in patients wounded by landmines and gunshots. *Foot &*

- ankle international*, 29(2), 178–184. <https://doi.org/10.3113/fai.2008.0178>
10. McGuigan, F. X., Forsberg, J. A., & Andersen, R. C. (2006). Foot and ankle reconstruction after blast injuries. *Foot and ankle clinics*, 11(1), 165–182. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2005.10.002>
  11. Omelchenko, T. M., Lyabakh, A. P., Buryanov, O. A., Khomych, S. V., & Lazarev, I. A. (2016). Arthrodesis in the system of reconstructive treatment of patients with the consequences of injuries of the supracalcaneal joint. *Bulletin of orthopedics, traumatology and prosthetics*, 1, 48–53. [in Ukrainian]
  12. Yasui, Y., Hannon, C. P., Seow, D., & Kennedy, J. G. (2016). Ankle arthrodesis: A systematic approach and review of the literature. *World journal of orthopedics*, 7(11), 700. <https://doi.org/10.5312/wjo.v7.i11.700>
  13. Yildiz, C., Ateşalp, A. S., Demiralp, B., & Gür, E. (2003). High-velocity gunshot wounds of the tibial plafond managed with Ilizarov external fixation: A report of 13 cases. *Journal of orthopaedic trauma*, 17(6), 421–429. <https://doi.org/10.1097/00005131-200307000-00006>
  14. Ladlow, P., Bennett, N., Phillip, R., Dharm-Datta, S., McMenemy, L., & Bennett, A. N. (2018). Passive-dynamic ankle-foot orthosis improves medium-term clinical outcomes after severe lower extremity trauma. *Journal of the royal army medical corps*, 165(5), 330–337. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001082>
  15. Melcer, T., Walker, J., Bhatnagar, V., Richard, E., Sechrist II, V. F., & Galarneau, M. (2017). Correction: A comparison of four-year health outcomes following combat amputation and limb salvage. *PLOS ONE*, 12(2), e0173214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173214>
  16. Nguyen, M. P., Reich, M. S., O'Donnell, J. A., Savakus, J. C., Prayson, N. F., Golob, J. F., McDonald, A. A., Como, J. J., & Vallier, H. A. (2017). Infection and complications after low-velocity intra-articular gunshot injuries. *Journal of orthopaedic trauma*, 31(6), 330–333. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000823>
  17. Baumfeld, D., Brito, A. S., Torres, M. S., Prado, K. L., De Andrade, M. A., & Campos, T. V. (2020). Fraturas causadas POR armas de fogo: Epidemiologia E taxa de infecção. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 55(05), 625–628. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1702960>
  18. Golovakha, M. L., Klyackiy, Y. P., Maslenikov, S. O., & Kosylo, V. V. (2024). Treatment of septic arthritis of the ankle. Actual problems of orthopedics and traumatology: Jubilee collection of scientific works [in Internet], 41–46. Available from: <https://archive.sytenko.org.ua/handle/123456789/1573>

Стаття надійшла до редакції 27.01.2025	Отримано після рецензування 22.02.2025	Прийнято до друку 27.02.2025
---	---	---------------------------------

## ANKLE ARTHRODESIS AFTER COMBAT RELATED INJURIES

V. M. Piatkovskiyi <sup>1</sup>, O. A. Turchin <sup>1</sup>, T. M. Omelchenko <sup>2</sup>, T. A. Yevlantieva <sup>1</sup>, V. S. Kharchyk <sup>1</sup>, A. P. Liabakh <sup>1</sup>

<sup>1</sup> SI «The Institute of Traumatology and Orthopedics NAMS of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup> Bogomolets National Medical University, Kyiv

✉ Volodymyr Piatkovskiyi, MD, PhD: [piatk1981@gmail.com](mailto:piatk1981@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5448-8759>

✉ Olena Turchin, MD, PhD: [olenaturch@gmail.com](mailto:olenaturch@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-8668-7063>

✉ Taras Omelchenko, MD, PhD, Prof.: [tnomelchenko@gmail.com](mailto:tnomelchenko@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1722-0803>

✉ Tetiana Yevlantieva: [t.yevlantieva@gmail.com](mailto:t.yevlantieva@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0009-6251-2814>

✉ Vasyl' Kharchyk: [kharchyk.vasyl@gmail.com](mailto:kharchyk.vasyl@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0006-7436-2524>

✉ Andrii Liabakh, MD, Prof.: [anliabakh@gmail.com](mailto:anliabakh@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5734-2392>

УДК 616.71-007.15-001.5-089.844:615.464](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025121-29>

## Використання модифікованої біоактивної кераміки під час пластики критичних розмірів посттравматичних кісткових дефектів

В. Л. Шмагой<sup>1</sup>, Н. В. Ульянчич<sup>2</sup>, М. В. Юрженко<sup>3</sup>,  
В. В. Коломієць<sup>2</sup>, С. О. Фірстов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТОВ «Медичний центр «Добробут-Поліклініка», Київ, Україна

<sup>2</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

<sup>3</sup> Інститут електророзварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

*According to statistical data from the National Military Medical Clinical Center for the period from February to May 2022, bone defects in gunshot fractures accounted for 76 % of cases, with defects exceeding 6 cm — classified as critical — found in 28 % of cases. Currently, the "gold standard" for reconstructing critical bone defects is the induced membrane technique, also known as the two-stage Masquelet technique. The most promising substitute for autologous bone is considered to be biphasic bioactive ceramics. In this study, we aimed to evaluate the feasibility of reconstructing critical bone defects resulting from combat trauma using a modified bioactive ceramic-autograft mixture during the second stage of the Masquelet technique, combined with additive manufacturing technologies. The study included a sample of 36 patients with critical bone defects who underwent reconstruction using the Masquelet technique. During the second stage, the defect was filled with a mixture of calcium phosphate ceramics (CPC) and autologous cancellous bone. We analyzed the treatment outcomes of patients with critical bone defects caused by combat-related injuries over the past 2.5 years who received treatment at the Dobrobut Medical Center. The evaluation criteria included pain levels, range of motion, axial load capacity, functional recovery (work capacity), and radiological signs of callus formation, deformities, graft migration, or remodeling. After 12 months of follow-up: Complete functional recovery (clinically and in range of motion) was achieved in 28 (78 %) patients. Partial functional recovery was observed in 7 (17 %) patients. Significant functional impairment requiring additional surgical interventions occurred in 1 (5 %) patient. Conclusions. Based on our experience, the use of a CPC-autograft mixture in the two-stage reconstruction of critical diaphyseal bone defects provides positive treatment outcomes in most clinical cases. The integration of 3D modeling and biodegradable materials enhances the range of possibilities for performing bone grafting procedures and simplifies technical challenges in reconstructive surgery. Keywords. Critical bone defects, Masquelet technique, bone grafting, bioactive ceramics, additive technologies, bone reconstruction.*

*За даними статистичного відділу Військово-медичного клінічного центру Північного регіону за період лютий–травень 2022 року кісткові дефекти в разі вогнепальних переломів склали 76 %, із них понад 6 см (критичні) — у 28 %. На сьогодні статусу «золотого стандарту» в реконструкції кісткових дефектів критичного розміру набуває методика індукованої мембрани або двоетапна техніка за Masquelet. Найбільш перспективним замінником аутокістки вважають двофазну біоактивну кераміку. У дослідженні оцінювали можливості реконструкції критичних кісткових дефектів після бойової травми на другому етапі методики Masquelet сумішшю модифікованої біоактивної кераміки й аутоспонгіози, зі застосуванням адитивних технологій. Опрацьовано вибірку з 36 пацієнтів, котрим за критичних розмірів кісткових дефектів послуговувалися методикою Masquelet. На 2-му етапі проводили пластику дефекту з використанням суміші КФК та аутоспонгіози. Проаналізовано результати лікування постраждалих після ВПК із критичними розмірами дефектів кісток кінцівок за останні 2,5 роки, які отримували лікування в «МЦ Добробут». За критерій оцінювання обрали показники болю, обсяг рухів, осьове навантаження і відновлення функції (працездатності), рентген ознаки мозолеутворення, деформацій або міграцій чи перебудови трансплантата. За 12 міс. повне відновлення функції кінцівки клінічно та за обсягом рухів було в 18 (78 %), часткове відновлення функції у 4 (17 %), у 1 (5 %) пацієнта значні порушення, які потребували подальших оперативних втручань. Висновки. Використання суміші КФК і аутоспонгіози за 2-етапного заміщення критичних діафізарних кісткових дефектів дає здебільшого позитивні результати лікування. 3D-моделювання та застосування біодеградуючих матеріалів розширює діапазон можливостей для проведення кістковопластичних маніпуляцій.*

**Ключові слова.** Критичні розміри кісткових дефектів, методика Masquelet, кістково-пластичні маніпуляції, кістковопластична суміш, біоактивна кераміка, адитивні технології





(протокол № 1 від 03.02.2025 р). Від всіх пацієнтів отримано інформовану згоду.

Аналізували лікування постраждалих із кістковими дефектами стегнової (7 випадків (19 %)), плечової (14 осіб (40 %)), великогомілкової (9 (24 %)) та кісток передпліччя (6 (17 %)), отриманими внаслідок бойових травм, без септичних проявів на момент кістково-пластичних маніпуляцій.

Вивчено результати лікування пацієнтів після ВПК із критичними розмірами дефектів кісток кінцівок за останні 2,5 роки, яким проводили реконструкцію із використанням суміші КФК, легуваної кремнієм (КФКлК) і аутоспонгіози та з залученням адитивних технологій із 3D-моделювання та друку.

Середній вік постраждалих складав ( $28 \pm 3$ ) року (від 19 до 54), термін лікування хворих від 3,5 до 16 міс. (в середньому 7,3). Чоловіків була переважна більшість — 34 (94 %), жінок — 2 (6 %).

Пластику кісткових дефектів здійснювали в два етапи з використанням РММА спейсерів (polymethylmethacrylate з гентаміцином) на першому етапі за методикою Masquelet. У постраждалих з важкими ВПК цей спосіб обирають для профілактики можливих місцевих інфекційних ускладнень і тимчасового заповнення порожнини кісткового дефекту з метою формування ложа для майбутньої пластики. На першому етапі навкруги заповненого РММА спейсером дефекту індукується мембрана насичена антибіотиком і факторами росту. На другому — пластика дефектів і в цей період зберігалась стабільність кісткових уламків, що дозволяє проводити ранню реабілітацію [10, 12].

Терміни проведення кістковопластичних маніпуляцій дуже різнилися, що обумовлено, на нашу думку, великою кількістю чинників впливу, а саме: якістю і строками проведення первинної хірургічної обробки рани (ПХО) та вторинної обробки (ВХО), котрі найчастіше виконувались у різних клініках, ступенем забрудненості ран, обсягом порушення трофіки та рівнем імунної системи пацієнтів. Тому під час оцінювання строків проведення 2-го етапу методики Masquelet обирали не рекомендовані 2–3 міс. після першого [10, 16], коли вважається найбільш активним процес утворення індукованої мембрани, а термін не менше 1–2 міс. після нормалізації загально-клінічних показників запальних процесів крові та після 2-х негативних результатів мікробіологічних аналізів із місця кісткового дефекту.

Заміщення кісткового ушкодження виконували здебільшого одномоментно з заміною спосо-

бу металофіксації сумішшю КФКлК у комбінації з аутоспонгіозою. Для заповнення порожнинних дефектів критичних розмірів діафізарної частини кістки перевагу надавали використанню суміші гранул модифікованої наноструктурованої двофазної біоактивної кераміки й аутоспонгіозної тканини, що дозволяло досягти таких цілей: збільшення обсягу пластичного матеріалу, надання остеоіндуктивних властивостей біоактивній кераміці, відповідність термінів заміщення пластичного біокерамічного матеріалу кістковою тканиною термінам консолідації кінцівок.

Як пластичний біоматеріал для імплантації в порожнину індукованої мембрани використано пористі гранули з КФКлК, розміром 3–4 мм. Вона складалась із трьох біосумісних фаз: 65 мас. % гідроксиапатиту (ГАП), 30 мас. %  $\beta$ -трикальційфосфату ( $\beta$ -ТКФ), 5 мас. %  $\alpha$ -трикальційфосфату ( $\alpha$ -ТКФ). Завдяки різним кристалічним структурам три фази біоматеріалу мають різну розчинність. Під час контакту з фізіологічним середовищем невелика кількість більш розчинної фази  $\alpha$ -ТКФ розчиняється швидше, збільшуючи нанопористість біоматеріалу. Стійкіша до розчинення фаза ГАП забезпечує каркас, який, поступово резорбуючись, тримає форму втраченого фрагмента кістки. Легування кремнієм сприяє створенню наноструктури (рис. 1), що надає остеоіндуктивні властивості біоматеріалу, крім того, кремній є важливим елементом сполучної і кісткової тканини, пришвидшує загоєння травмованих кісток, активізує стовбурові клітини, надає остеоіндуктивні властивості синтетичним матеріалам [3, 11, 13].

Із метою утримання форми пластичного матеріалу та можливості імпації, використовували полімерні та титанові сітки, як каркас ділянки пластики та каркасні сітки з біодеградуючого матеріалу полілактиду. У 4-х випадках застосовували адитивні технології — 3D-змодельовані та надруковані на 3D-принтері об'ємні форми пластичного матеріалу подібні до дефекту кістки, який мав співвідношення з металофіксаторами.

Для аналізу ступеня супутніх травматичних ушкоджень і забрудненості м'яких тканин під час вогнепальних поранень використовували класифікацію відкритих переломів R. В. Gustillo, з метою виявлення ступеня тяжкості ушкодження кісткової тканини — класифікацію АО, яка в більшості випадків спостережень у нашій клініці включала тип С для метафізарних і діафізарних ВПК, а також групу С3 для суглобів кінцівок.

Судинні та неврологічні ураження за ВПК оцінювали за класифікацією відкритих переломів АО.

У всіх пацієнтів під час госпіталізації та хірургічного втручання проводили бактеріологічний посів із ран і місця кісткового дефекту на флору та визначали її чутливість до антибіотиків.

Контроль хворих клінічно і рентгенологічно проводили через 1 та 3 міс., за відсутності ускладнень. Результати лікування аналізували в строки 6, 12 і 18 міс. із моменту виконання пластичних операцій на кістках. Підсумок оперативного лікування здійснювали за власною модифікованою 100 бальною шкалою що за принципами шкали Harris'a та Rowe враховує 4 критерії: больовий синдром, клінічна картина функціонального відновлення, рентгенологічні знімки та наявність чи відсутність інфекційних і трофічних ускладнень (табл.).

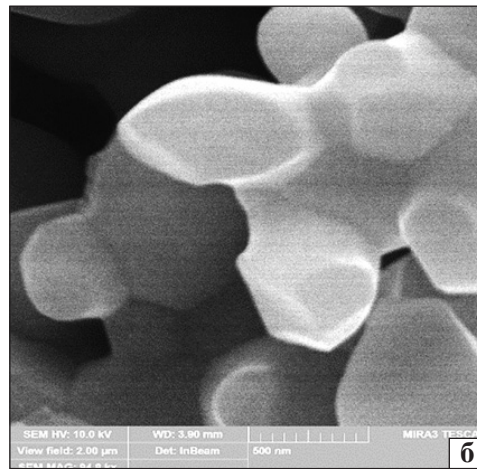
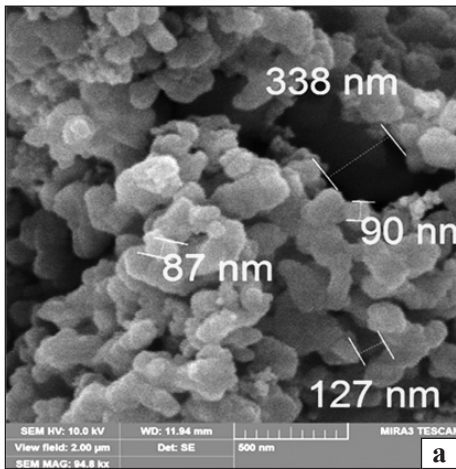
## Результати

Методику тимчасового заповнення ран цементним спейсером РММА з гентаміцином застосовували 36 особам із кістковими дефектами та ризиком місцевих проявів септичного запалення.

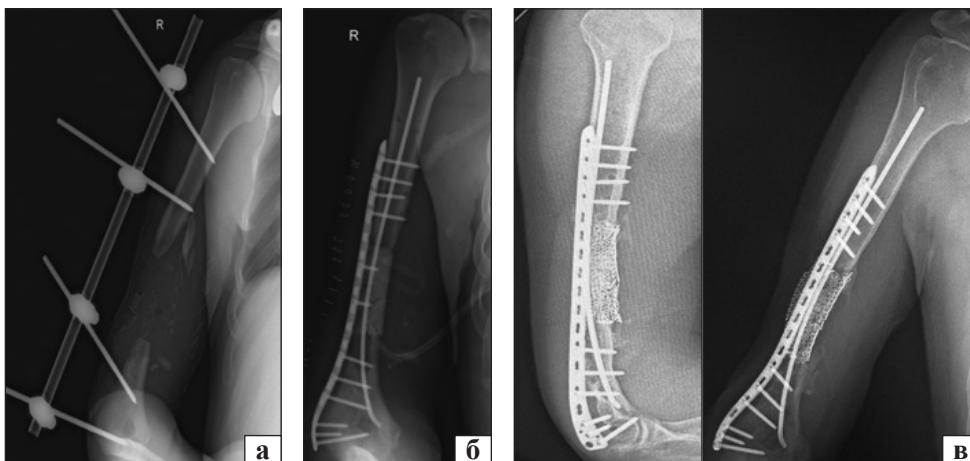
За відсутності септичних проявів у ділянці ураження та нормалізації показників загальноклінічних аналізів, проводили другий етап планової кісткової пластики дефектів, ураховуючи розмір і локалізацію травми, стан м'якотканинних ушкоджень і трофіки кінцівки (рис. 2).

За критичних кісткових дефектів, використовуючи техніку Masquelet в сегментах з однією кісткою (плече, стегно) обирали переважно інтрамедулярний блокований остеосинтез с додатковою фіксацією накістковим металофіксатором (пластиною), або дві пластини. У сегментах із 2-ма кістками (передпліччя, великогомілкова кістка) під час фіксації кісткових уламків однієї кістки переважно застосовували накісткові металофіксатори — пластини.

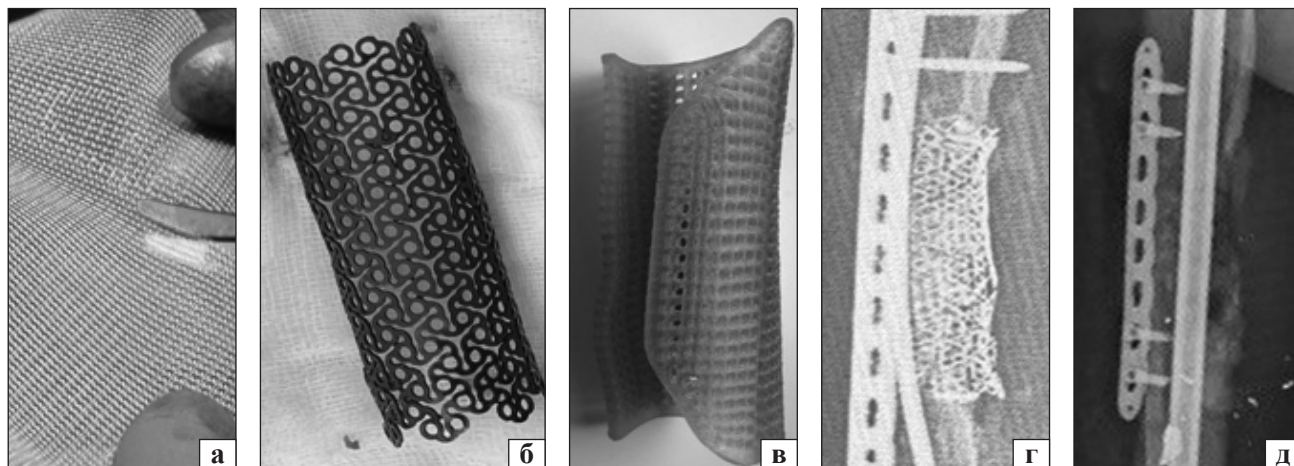
На 2-му етапі заміни РММА спейсера на кістково-пластичну суміш в окремих випадках додатково використовували титанову сітку в 17 пацієнтів, біополімерну — 6 особам, каркасну сітку з біодеградуючого матеріалу викотовлену по формі дефекту з використанням 3D-принтеру — 2 пораненим (рис. 3).



**Рис. 1.** Мікроструктура наноструктурованої біоактивної кераміки, модифікованої кремнієм (а), та звичайної пористої двофазної біоактивної кераміки (б), однакове збільшення



**Рис. 2.** Комбінована двоетапна кісткова пластика за методикою Masquelet (рентгенограми після некрсеквестрэктомії в АЗФ (а) та проведення 1-го етапу (конверсія металоостеосинтезу та заповнення дефекту РММА спейсером) (б) та 2-го з металофіксацією TEN накістковою пластиною та титановою сіткою, фіксуюча суміш аутоспонгїоза та КФКЛК (в))



**Рис. 3.** Приклади використання різних типів сіток для формування суміші аутоспонгіози і КФКЛК (біополімерна сітка (а), титанова змодельована сітка (б), 3D-змодельована біодеградуєча сітка (в)), приклади вигляду сіток на рентген-контролі (рентген-контрастна титанова (г) та нерентген-контрастна біополімерна (д))

Таблиця

### Модифікована 100 бальна шкала оцінювання результатів операції

Критерій	Результат			Критерій нарахування балів
	відмінний	задовільний	незадовільний	
Больовий синдром за шкалою ВАШ	до 2-х балів	до 5 балів	більше 5 балів	25–21 — відсутність болю; 20–11 — наявність болю під час рухів; 0–10 — біль у спокої
Клінічна оцінка: обсяг рухів у суміжних суглобах, вільсьове навантаження (відновлення функції)	Обмеження до 20 % обсягу рухів у суміжних суглобах; вільсьове навантаження повне; повне відновлення працездатності	Обмеження до 50 % обсягу рухів; вільсьове навантаження до 40–50 % ваги тіла (хода з паличкою); часткове відновлення працездатності, соціалізація	Обмеження більше 50 % обсягу рухів; вільсьове навантаження до 50 % ваги тіла (хода з милицями, пересування на візку); відсутність або незначне відновлення функції кінцівки що обмежує соціалізацію	25–21 — повне відновлення працездатності, обсягу рухів і вільсьового навантаження; 20–15 — часткове відновлення працездатності, соціалізація, обмеження обсягу рухів у суміжних суглобах до 20–30 %, часткове обмеження навантаження; 0–14 — обмеження рухів, навантаження, соціалізація
Рентген ознака	Наявність ознак мозолеутворення й остеоінтеграції та перебудови трансплантата; відсутність ознак міграції або деформації металофіксаторів і трансплантата	Слабкі прояви ознак мозолеутворення; відсутність остеоінтеграції та перебудови трансплантата; наявність незначних ознак міграції або деформації металофіксаторів і трансплантата, які не потребують корекційного лікування	Відсутність ознак мозолеутворення й остеоінтеграції та перебудови трансплантата; наявність ознак міграції або деформації металофіксаторів та трансплантата, які потребують корекційного лікування	25–21 — наявність ознак утворення періостального мозолю й остеоінтеграції та перебудови трансплантата; 20–11 — відсутність ознак консолидації, наявність незначної деформації або міграції металофіксаторів і трансплантата; 0–10 — відсутність ознак консолидації, наявність значної деформації або міграції металофіксаторів
Наявність ускладнень	Відсутність інфекційних або місцевих трофічних ускладнень	Місцеві інфекційні або трофічні ускладнення, які нівелюються консервативним лікуванням або місцевими хірургічними маніпуляціями	Інфекційні або трофічні ускладнення, що потребують подальшого втручання	25 — відсутність ускладнень; 20–11 — місцеві незначні інфекційні або трофічні ускладнення; 0–10 — інфекційні або трофічні ускладнення, які потребують подальшого втручання
Загальна кількість балів	75–100	50–75	менше 50	—



У 9 хворих додатково матеріалів для формування пластичної суміші не застосовували, здебільшого це ті, яких оперували в 2022–2023 р. Пластичний матеріал розміщували в порожнині, котра формувалася й обмежувалась лише індукованою мембраною, але з досвіду, це призводило до часткової міграції пластичного матеріалу в навколишні м'які тканини, або під час виконання пластики не вдавалося відповідно зробити імпакцію суміші для надання їй більшої фізіологічної щільності.

В 2 випадках за потреби раннього вісьового навантаження під час заміщення критичного дефекту стегнової кістки застосовували адитивні технології, які полягали в 3D-проектванні, моделюванні і виготовленні виробів з КФКЛК, котрі використовували як пластичний матеріал для заміщення дефекту кістки на 2-му етапі лікування (рис. 4).

Контроль пацієнтів проводили через 1 та 3 міс., оцінювали больовий синдром за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ), об'єм рухів у суміжних суглобах і рентген ознаки стабільності металофіксаторів і відсутність деформацій чи міграцій з боку трансплантатів. Результати лікування вивчали в строки 6 міс. у всіх 36 осіб, через 12 міс. — у 23, а 18 міс. — у 17 пацієнтів, вони для поранених з ушкодженнями верхніх і нижніх кінцівок різняться.

Більшість хворих із критичними дефектами верхніх кінцівок під час контролю в 6 міс. показали відмінні клінічні результати, а з травмами нижніх кінцівок — задовільні, що відповідає середнім строкам консолідації ушкоджень кісток цієї локалізації та відновлення працездатності. Під час аналізу результатів лікування в 12 місячний термін після пластичних маніпуляцій відмінні показники із повним відновленням функції кінцівки отримані в 18 (78 %) пацієнтів, задовільні — у 4 (17 %) осіб, у 1 (5 %) результат був незадовільним, що потребувало подальших оперативних втручань. Для прикладу наводимо дані хворого з критичним дефектом плечової кістки, котрий проходив лікування й одужав в строк 6 міс. після пастичних маніпуляцій (рис. 5). Усереднений показник больового синдрому в контрольний строк 6 та 12 міс. за шкалою ВАШ у пацієнтів з відмінним результатом лікування склав 1,6 бала, в групі з задовільним — 2,4 бала, у особи з незадовільним результатом — 4,1. Рентгенологічне оцінювання консолідації проводилось за 3-ма критеріями: утворення кісткового мозолу, прояви ущільнення і перебудови трансплантата.

У всіх 36 пацієнтів у періоди 3, 6 і 12 міс. простежувалися ознаки утворення кісткового мозолу, стосовно ступеня перебудови трансплантата й ущільнення структури оцінювання суттєвих ознак можливо здійснити в строки більші 12 міс. (18, 24 міс. і більше), що потребує подальшого спостереження.

Ускладнення в післяопераційному періоді у вигляді місцевих септичних запальних процесів були в 7 пацієнтів, у 5 випадках носили характер місцевих проявів у ділянці післяопераційних рубців та нівелювалися після проведення хірургічних та антисептичних маніпуляцій. У 2 випадках виникла потреба у вторинній хірургічній обробці з використанням пульс-лаважу, промивної та ВАК систем.

## Обговорення

В останній час збільшується кількість робіт щодо бойової травми кінцівок, особливо ВПК із дефектом кісткової тканини. Вона ушкоджує всі компоненти архітектури кінцівок, а саме: шкіру, м'які тканини, кісткові, судинні та нервові елементи, що вимагає проводити швидко та точно оцінювання з вибором методик лікування для оптимізації функціональних результатів.

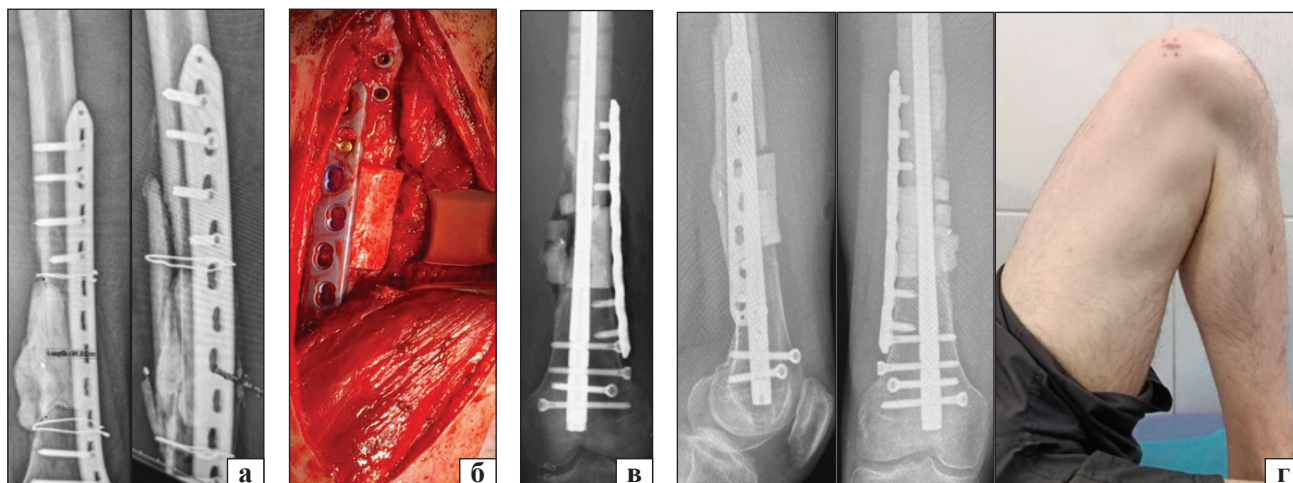
За рахунок раннього заміщення дефектів тканин можна досягти істотного зниження ризику розвитку інфекційних ускладнень, збереження життєздатності кісткових уламків, сухожилків, суглобових хрящів, судин і нервів, а також оптимізації перебігу репаративних процесів, і як наслідок — кращих результатів загоєння та відновлення функції кінцівки [1, 6, 7].

Незважаючи на велику кількість літературних джерел цієї тематики, на сьогодні не існує загальноновизнаного алгоритму дій, не визначені чіткі критерії тактики, строків виконання маніпуляцій, вибору пластичних матеріалів і способів стабілізації уламків.

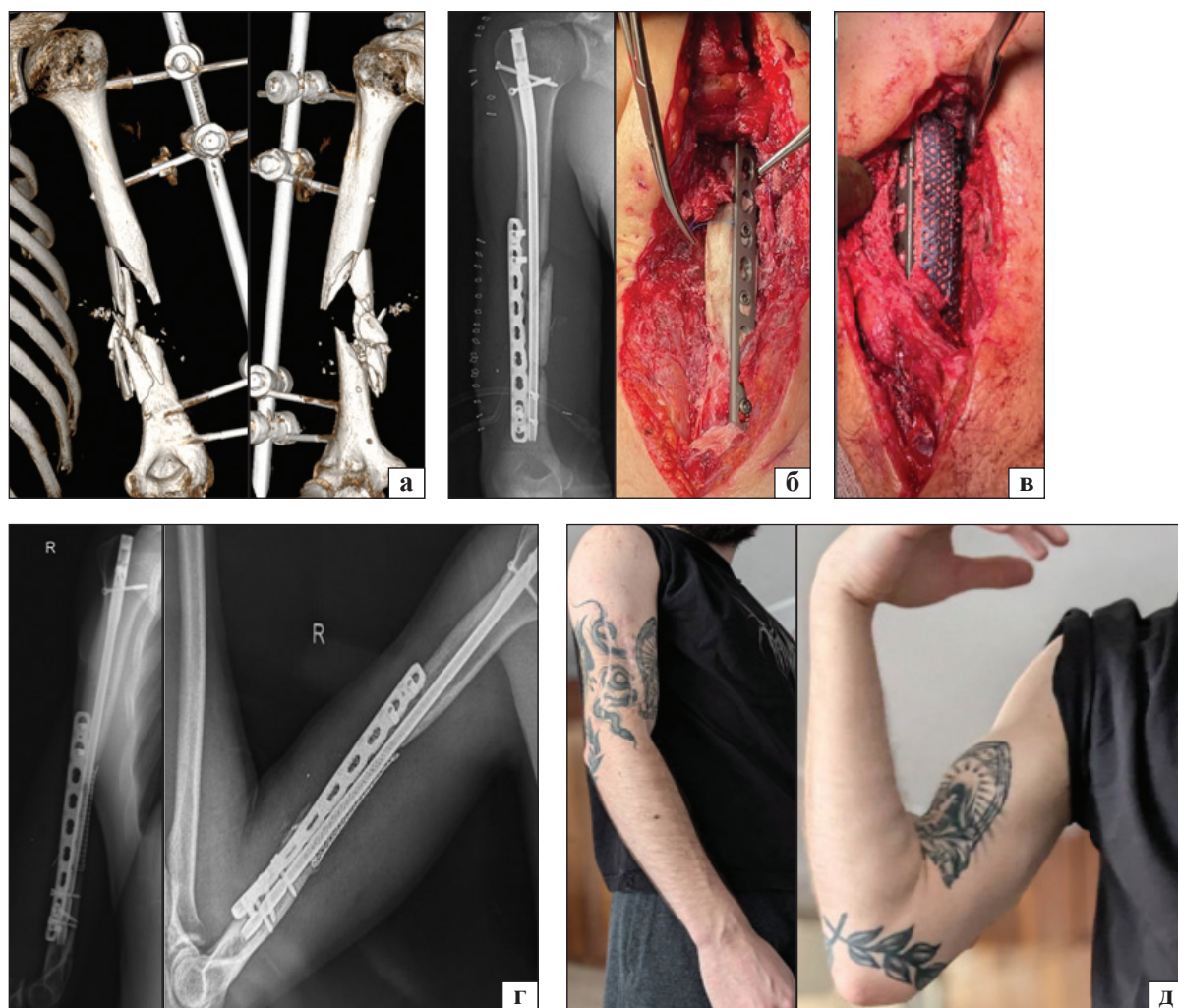
Власний досвід використання суміші аутопонгіози та КФКЛК у поєднанні зі стабільним зануреним остеосинтезом (проводиться в два етапи методом конверсії зі зовнішнього на занурений) дає можливість отримати позитивний результат у більшості клінічних випадків лікування критичних післятравматичних діафізарних кісткових дефектів.

Використання таких сучасних технологій як 3D-моделювання за допомогою КТ кісткового дефекту пацієнтів разом із можливістю застосування біоактивних біорезорбуючих матеріалів, спрощує технічні складнощі, котрі виникають під час проведення реконструктивно-відновлювальних операцій.





**Рис. 4.** Приклад використання 3D-модельовання за умов використання виробів із КФКЛК. Рентген пацієнта з дефектом діафіза стегнової кістки після МОС пластиною та заміщення дефекту РММА спейсером (а), під час операції заміщення дефекту 3D-модельованим імплантатом КФКЛК (б), в після операційному періоді рентген контроль на наступний день після операції (в) та через 4 міс., фото прооперованої кінцівки після відновлення функції (г)



**Рис. 5.** Приклад лікування пацієнта за методикою Masquelet з критичним дефектом діафіза плечової кістки на КТ (а), після конверсії зовнішнього металоостеосинтезу на занурений на 1-му етапі зі заміщенням дефекту РММА спейсером (б) і на 2-му — пластиною сумішню аутоспонгії і КФКЛК із використанням титанової сітки на інтраопераційних фото (в) і рентген-контролі після операції (г) та фото результату лікування з обсягом рухів і відновленням функції та працездатності через 6 міс. (д)

Так використання 3D-сіток із біодеградуючого пластику допомагає формувати й утримувати потрібний обсяг пластичної суміші для заповнення критичного кісткового дефекту необхідної форми. А виготовлення 3D-моделі імплантата з КФКЛК надає можливість не лише застосування пластичного матеріалу відповідно до форми і розмірів дефекту, а й більшу міжуламкову стабільність та може за рахунок корекції щільності матеріалу корегувати терміни біодеградації відповідно до фізіологічних строків кісткової перебудови. Ураховуючи більші строки перебудови кістковопластичної суміші, як порівняти зі середнім терміном зрощення переломів цієї локалізації, для їхнього оцінювання потрібні більш тривалі спостереження у віддаленому періоді (24 та 36 міс).

## Висновки

Проаналізувавши результати лікування, вважаємо, що використання суміші КФКЛК і аутоспонгіози під час двоетапного заміщення критичних діафізарних кісткових дефектів має позитивний ефект в більшості клінічних випадків.

Рациональним під час лікування поранених із ВПК і критичних розмірів кісткових дефектів є поєднання сучасних ортопедо-травматологічних методик і новітніх технологій. 3D-моделювання та використання біодеградуючих матеріалів розширюють діапазон можливостей лікаря для проведення кістковопластичних маніпуляцій.

Рекомендована тактика вибору методик і матеріалів для заміщення післятравматичних критичних кісткових дефектів внаслідок бойової травми в поєднанні зі стабільним металоостеосинтезом дала можливість отримати позитивні результати лікування більш ніж у 90 % пацієнтів, що свідчить про можливість її використання в травматологічній практиці.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Використання сучасних адитивних технологій у сукупності з можливістю застосування біоактивних біорезорбуючих матеріалів, спрощує технічні складнощі, котрі виникають під час проведення реконструктивно-відновлювальних операцій. Проте оцінку рентгенологічних ознак утворення кісткового мозолу та біорезорбції і перебудови трансплантата можливо простежити в строки більш ніж 12 місяців (а саме в 18, 24 і більше), що потребує подальшого спостереження, яке і планується в наступні періоди з вивченням довгострокових результатів лікування.

**Інформація про фінансування.** Ця публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості в будь-якій формі.

**Внесок авторів.** Шмагой В. Л. — провів клінічні дослідження, робив наукову та статистичну обробку матеріалів; Юрженко М. В. — виконання практичної роботи з адитивними технологіями, написання статті; Ульянович Н. В., Коломієць В. В., Фірстов С. О. — підбір і забезпечення КФК, надання науково-технічної інформації.

## Список літератури

- Hrytsai, M., Kolov, H., Sabadosh, V., Vyderko, R., Polovyi, A., & Hutsailiuk, V. (2024). Main surgical methods of critical tibial bone defects replacement (Literature review). *Terra orthopaedica*, (1(120)), 42–49. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-120-1-42-49>
- Hrytsai, M., Kolov, H., Sabadosh, V., Vyderko, R., Polovyi, A., & Hutsailiuk, V. (2024). Main surgical methods of critical tibial bone defects replacement (Literature review). Part II. *Terra orthopaedica*, (2(121)), 45–53. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-121-2-45-53>
- Rublenko, M., Chemerovsky, V., Vlasenko, V., & Ulyanchich, N. (2018). Evaluation of osteointegrative and osteoinductive properties of silicon doped ceramics in a model of rabbit's femur fractures. *Naukovij visnik veterinarnoї medicini*, (2 (144)), 44–53. <https://doi.org/10.33245/2310-4902-2018-144-2-44-53>
- Strafun, S., Kurinnyi, I., Borzykh, N., Tsybaliuk, Y., & Shypunov, V. (2021). Tactics of surgical treatment of wounded with gunshot injuries of the upper limb in modern conditions. *Visnyk ortopedii travmatologii protezuvannia*, (2(109)), 10–17. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17>
- Tsybalyuka, V. I. (2020). *Treatment of the wounded with combat injuries of the limbs (based on the experience of the ATO/JPO)*. PJSC «Printing and Publishing Complex «Desna», Chernihiv. (In Ukrainian)
- Khomenko, I. P., Korol, S. O., Khalik, S. V., Shapovalov, V. Y., Yenin, R. V., Herasimenko, O. S., & Tertyshnyi, S. V. (2021). Clinical and epidemiological analysis of the structure of combat surgical injury during antiterrorist operation / Joint forces operation. *Ukrainian journal of military medicine*, 2(2), 5–13. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2\(2\)-005](https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2(2)-005)
- Andrzejowski, P., & Giannoudis, P. V. (2019). The 'diamond concept' for long bone non-union management. *Journal of orthopaedics and traumatology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s10195-019-0528-0>
- Gustilo, R. B., Mendoza, R. M., & Williams, D. N. (1984). Problems in the management of type III (Severe) open fractures. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 24(8), 742–746. <https://doi.org/10.1097/00005373-198408000-00009>
- Müller, M. E., Nazarian, S., Koch, P., & Schatzker, J. (2012). *The comprehensive classification of fractures of long bones*. Springer Science & Business Media.
- Mathieu, L., Mourtiolon, R., Durand, M., De Rousiers, A., De l'Escalopier, N., & Collombet, J. (2022). Masquelet technique in military practice: Specificities and future directions for combat-related bone defect reconstruction. *Military Medical Research*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40779-022-00411-1>
- Pidgaietskyi, V., Ulianchych, N., Kolomiets, V., Rublenko, M., & Andriiets, V. (2023). Osseointegration properties of domestic bioactive calcium phosphate ceramics doped with silicon. *Polish journal of medical physics and engineering*, 29(2), 113–129. <https://doi.org/10.2478/pjmpe-2023-0013>
- Wong, T. M., Lau, T. W., Li, X., Fang, C., Yeung, K., & Leung, F. (2014). Masquelet technique for treatment of posttraumatic bone defects. *The scientific world journal*, 2014, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2014/710302>

13. Tavafoghi, M., Kinsella, J. M., Gamys, C. G., Gosselin, M., & Zhao, Y. F. (2018). Silicon-doped hydroxyapatite prepared by a thermal technique for hard tissue engineering applications. *Ceramics international*, 44(15), 17612–17622. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.06.071>.
14. Miri, Z., Haugen, H. J., Loca, D., Rossi, F., Perale, G., Moghanian, A., & Ma, Q. (2024). Review on the strategies to improve the mechanical strength of highly porous bone bioceramic scaffolds. *Journal of the European ceramic society*, 44(1), 23–42. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceram-soc.2023.09.003>
15. Wang, J., Yin, Q., Gu, S., Wu, Y., & Rui, Y. (2019). Induced membrane technique in the treatment of infectious bone defect: A clinical analysis. *Orthopaedics & traumatology: surgery & research*, 105(3), 535–539. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.01.007>

Стаття надійшла до редакції 24.01.2025	Отримано після рецензування 26.02.2025	Прийнято до друку 03.03.2025
---	---	---------------------------------

## OUR EXPERIENCE IN USING MODIFIED BIOACTIVE CERAMICS FOR THE RECONSTRUCTION OF CRITICAL POST-TRAUMATIC BONE DEFECTS

V. L. Shmagoy <sup>1</sup>, N. V. Ulyanchich <sup>2</sup>, M. V. Iurzhenko <sup>3</sup>, V. V. Kolomiets <sup>2</sup>, S. O. Firstov <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medical Center «Dobrobut-Polyclinic», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup>E. O. Paton Electric Welding Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

✉ Vasyly Shmaho, PhD: [shmagoiv@gmail.com](mailto:shmagoiv@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2635-4125>

✉ Nataliia Ulianchych, Candidate of Technical Sciences: [ulnata@ukr.net](mailto:ulnata@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0002-8806-0280>

✉ Maksym Iurzhenko, DEngSci., Prof.: [4chewip@gmail.com](mailto:4chewip@gmail.com)

✉ Volodymyr Kolomiets: [vova270192@gmail.com](mailto:vova270192@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2322-7091>

✉ Sergiy Firstov: [sfirstov@ukr.net](mailto:sfirstov@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0001-9676-722X>



УДК 616.72-002-085-092.9(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025130-36>

## Вплив терапії CO<sub>2</sub> та її комбінацій на запальну активність та імунний статус: експериментальне дослідження

**В. В. Штробля**

Ужгородський національний університет. Україна

*Osteoarthritis (OA) is a chronic degenerative disease characterized by cartilage destruction, inflammation, and autoimmune processes. The limited effectiveness of current therapies has generated interest in alternative approaches, such as carboxytherapy, which possesses anti-inflammatory and regenerative properties. Objective. To evaluate the effects of carboxytherapy (CO<sub>2</sub>) in mono- and combination therapy on a carrageenan-induced model of inflammation in rats by assessing leukocyte differential counts and integral indices. Methods. The study was conducted on 56 white rats divided into 7 groups (n = 8): control (intact and carrageenan-induced), mono- and combination therapy with CO<sub>2</sub> in conjunction with diclofenac or chondroitin. Changes in the leukocyte differential counts and integral indices (NMR, NLR, LSI, LI, IIR) were evaluated. Results. CO<sub>2</sub> monotherapy (Group V) reduced the NMR (Neutrophil-to-Monocyte Ratio) by 25.4 % (15.60 ± 2.95 vs. 20.92 ± 8.89 in Group II, p < 0.001). The Leukocyte Index (LI) increased by 82.2 % (1.471 ± 0.155 vs. 1.791 ± 0.191, p = 0.001). The combination of CO<sub>2</sub> with diclofenac (Group VI) reduced NMR by 68.3 % (6.61 ± 2.72, p < 0.001) and increased LI by 103.1 % (3.637 ± 0.770, p < 0.001). CO<sub>2</sub> combined with chondroitin (Group VII) reduced the NLR (Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio) by 48.6 % (0.290 ± 0.0938, p < 0.001) and increased LI by 121.7 % (3.847 ± 1.421, p < 0.001). In Groups VI and VII, there was a significant decrease in band neutrophils (by 79.2 % and 75.0 %, respectively) and an increase in lymphocytes (by 72.2 % and 70.9 %, p < 0.001). Conclusions. Carboxytherapy modulates the inflammatory response and enhances the immune response. The best results were observed with combined CO<sub>2</sub> therapy with diclofenac or chondroitin, confirming their potential in reducing inflammation and stimulating regeneration. Key words. Carboxytherapy, carbon dioxide, inflammation, neutrophils, lymphocytes, diclofenac, chondroitin sulfate, carrageenan model.*

*Остеоартрит (ОА) — хронічне дегенеративне захворювання суглобів, патогенез якого пов'язаний із запаленням і дисфункцією імунної системи. У свою чергу, карбокситерапія (CO<sub>2</sub>) є перспективним методом лікування остеоартриту завдяки своїм протизапальним і регенеративним властивостям. Мета. Оцінити вплив карбокситерапії як монотерапії та в комбінації з диклофенаком натрію та хондроїтину сульфатом на показники лейкоцитарної формули, інтегральні індекси запалення й імунної відповіді у щурів із карагеніновою моделлю запалення. Методи. Дослідження проведено на 56 білих щурів, поділених на 7 груп (n = 8). Для моделювання запалення використовували карагенін. Групи отримували CO<sub>2</sub> (0,5 мл), диклофенак натрію (4–8 мг/кг), хондроїтину сульфат (3 мг/кг) або їх комбінації. Аналіз лейкоцитарної формули проводили за стандартною методикою; розраховували інтегральні індекси лейкограми (ІСНМ, ІСЛМ, ІСНЛ, ІЗЛ, ЛІ). Дані обробляли за допомогою дисперсійного аналізу (p < 0,05). Результати. Монотерапія CO<sub>2</sub> знизилася ІСНМ на 25,4 % (p < 0,001) та ІСНЛ на 46,9 % (p < 0,001), тоді як комбіноване застосування CO<sub>2</sub> із диклофенаком натрію зменшило ІСНМ на 68,3 % (p < 0,001) і підвищило ЛІ на 103,1 % (p < 0,001). CO<sub>2</sub> із хондроїтину сульфатом знизив ІСНМ на 45,5 % (p = 0,026), а ЛІ зріс на 121,7 % (p < 0,001). Частка лімфоцитів у групі CO<sub>2</sub> + диклофенак натрію збільшилася на 42,9 % (p < 0,001), що вказує на активацію адаптивного імунітету. Висновки. Карбокситерапія ефективно модулює запальні процеси, знижуючи нейтрофільну активність і посилюючи адаптивну імунну відповідь. Комбінація CO<sub>2</sub> із диклофенаком натрію або хондроїтину сульфатом демонструє синергічний ефект, що дозволяє зменшити дози традиційних препаратів і мінімізувати побічні ефекти. Отримані результати підтверджують перспективність використання CO<sub>2</sub>-терапії у лікуванні остеоартриту.*

**Ключові слова.** Карбокситерапія, вуглекислий газ, запалення, нейтрофіли, лімфоцити, диклофенак натрію, хондроїтину сульфат, карагенінова модель



## Вступ

Остеоартрит (ОА) — це хронічне дегенеративне захворювання суглобів, патогенез якого ще до кінця не вивчено. Його характеризують руйнування хряща, утворення остеофітів і запальні процеси [1]. Раніше ОА вважали хворобою, спричиненою переважно механічним зношуванням суглобів. Проте сучасні дослідження підкреслюють значну роль імунної системи в його розвитку. Інфільтрація імунних клітин у суглоб, продукція запальних медіаторів і автоімунні процеси свідчать про те, що ОА має імунологічну природу [2].

Доведено, що вивільнення прозапальних медіаторів (цитокінів, адипокінів, факторів росту) визначає запальні реакції у тканинах суглобів, які супроводжуються втратою їхньої структури та функції [3].

Дослідження показали, що зміни гематологічних показників, зокрема рівнів лейкоцитів (нейтрофілів, лімфоцитів, моноцитів) та тромбоцитів, а також ширини розподілу еритроцитів і вмісту білків гострої фази, можуть відображати ступінь системної запальної реакції за ОА [4, 5]. На цій основі запропоновано використовувати різні співвідношення клітинних елементів крові, нейтрофілів до лімфоцитів (NLR) або моноцитів до лімфоцитів (MLR), як маркери, які корелюють із перебігом ОА [6]. Дослідження гематологічних показників є зручним, малоінвазивним та економічно доступним способом виявлення системного запалення в разі остеоартриту [4].

Сучасне лікування ОА здебільшого включає хондропротектори, нестероїдні протизапальні препарати (НПЗП), а в разі прогресування — артропластику [7]. Останнім часом усе більше уваги приділяють використанню натуральних речовин, які блокують молекули, залучені в прогресування запалення та руйнування хряща [8]. Сучасна терапія дедалі більше орієнтована на комплексний підхід, доповнений альтернативними методиками лікування [7].

Одним із перспективних напрямів у лікуванні ОА є карбокситерапія — метод, заснований на введенні вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Цей підхід привертає увагу завдяки протизапальним і регенеративним властивостям CO<sub>2</sub> [9]. Механізм дії включає поліпшення мікроциркуляції, стимуляцію метаболізму тканин та активацію регенеративних процесів [10]. Введення CO<sub>2</sub> сприяє розширенню судин, покращує транспорт кисню до тканин і видалення продуктів метаболізму [11, 12].

Передбачається, що CO<sub>2</sub> може чинити протизапальну дію, модулюючи імунну відповідь і сприяючи відновленню ушкоджених тканин [13, 14]. Проте механізми дії CO<sub>2</sub> під час лікування ОА залишаються недостатньо вивченими.

*Мета:* оцінити вплив карбокситерапії як у вигляді монотерапії, так і в комбінації з традиційними протизапальними препаратами (диклофенаком натрію та хондроїтину сульфатом) на показники лейкоцитарної формули й інтегральні індекси інтоксикації в разі карагенінового запалення у щурів.

Дослідження має на меті з'ясувати, чи здатна карбокситерапія модулювати запальні процеси та сприяти регенерації тканин, а також вивчити її здатність посилювати протизапальну дію традиційних препаратів. Ми припускаємо, що комбінована терапія сприятиме ефективнішій імунній відповіді, зниженню запальної активності й запуску процесів відновлення, що може стати основою для розробки нових терапевтичних підходів у лікуванні остеоартриту.

## Матеріал і методи

Дослідження, проведене на базі віварію Полтавського державного медичного університету, схвалено етичними комітетами Полтавського державного університету (протокол № 225 від 21.03.2024 р.) і Ужгородського національного університету (протокол № 9/2 від 7.06.2023 р.). Усі процедури відповідали основним положенням Конвенції Ради Європи про захист хребетних тварин, які використовуються в експериментальних та інших наукових цілях, а також Директиві 2010/63/ЄС Європейського парламенту та Ради ЄС.

Цей фрагмент входить в ініціативну науково-дослідну тему кафедри фармакології, клінічної фармакології та фармації Полтавського державного медичного університету «Фармакологічне дослідження біологічно активних речовин і лікарських засобів для розробки та оптимізації показань до їхнього застосування в медичній практиці» (№ державної реєстрації 0120U103921), а також науково-дослідної теми кафедри загальної хірургії Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет» «Моніторинг травматичної хвороби на фоні хронічного стресу» (№ державної реєстрації 0124U002167).

У дослідженні використовували 56 білих щурів (n = 56), масою 285–315 г, із яких 34 (60,7 %) — самиці. Тварин утримували в стандартних умовах віварію за температури (22 ± 2)° С, відносно

вологості ( $55 \pm 5$ ) % та 12-годинному світловому режимі. Вони мали вільний доступ до води та стандартного корму. Тварини були рандомізовані та розподілені на 7 груп по 8 щурів у кожній ( $n = 8$ ): група I — інтактний контроль (фізіологічний розчин); група II — контрольна патологія (карагенін 1 %, 0,1 мл); група III — контрольна патологія + диклофенак натрію (8 мг/кг, внутрішньочеревинно); група IV — контрольна патологія + хондроїтину сульфат (3 мг/кг, внутрішньочеревинно); група V — контрольна патологія + вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ , 0,5 мл, п/ш); група VI — контрольна патологія + диклофенак натрію (4 мг/кг) +  $\text{CO}_2$  (0,5 мл); група VII — контрольна патологія + хондроїтину сульфат (3 мг/кг) +  $\text{CO}_2$  (0,5 мл).

Для моделювання гострого запалення використовували карагенінову модель на щурах. Тваринам субплантарно вводили 1 % розчин карагеніну в об'ємі 0,1 мл. Диклофенак натрію у дозах 8 і 4 мг/кг, і хондроїтину сульфат у дозі 3 мг/кг, вводили внутрішньочеревинно за годину до проведення карагенінового тесту. Підшкірне введення  $\text{CO}_2$  здійснювали за допомогою апарата INDAP Insuf (Чеська Республіка) з використанням голки BD Mikrolance 3,30 G  $\frac{1}{2}$  0,3  $\times$  13 мм у дозі 0,5 мл на тварину за годину до введення карагеніну. Групі інтактного контролю вводили фізіологічний розчин в еквівалентному об'ємі.

Через 6 год після уведення карагеніну щурів піддавали евтаназії під тіопенталовим наркозом (50 мг/кг), проводили забір крові з серця до його зупинки. Кров фіксували в пробірках із нашаруванням 2-х заміщеною сіллю етилендіамінтетраоцтової кислоти. Для цитологічного дослідження готували мазки крові, які фіксували та фарбували за стандартною методикою Романовського-Гімзи. Їх аналіз проводили за допомогою світлового мікроскопа з імерсійною системою (об'єктив  $\times 100$ , окуляр  $\times 10$ ). Підраховували кількість лейкоцитів різних видів у полі зору на 100 клітин (клітин/мкл).

Для виявлення інтенсивності запального процесу та загального стану імунної системи розраховували наступні інтегральні лейкоцитарні індекси: ІСНМ (співвідношення нейтрофілів і моноцитів = нейтрофіли/моноцити); ІСЛМ (співвідношення лімфоцитів і моноцитів = лімфоцити/моноцити); ІСНЛ (співвідношення нейтрофілів і лімфоцитів = (паличкоядерні нейтрофіли + сегментоядерні нейтрофіли)/лімфоцити); ІЗЛ (індекс зсуву лейкоцитів = (еозинофіли + базофіли + сегментоядерні нейтрофіли + паличкоядерні нейтрофіли) / (лімфоцити + моноцити)); ЛІ

(лейкоцитарний індекс = лімфоцити/нейтрофіли); ІІР (індекс імунорезистентності) = (лімфоцити + еозинофіли)/моноцити [15, 16].

Цифрові дані обробляли за допомогою програми Jamovi версії 2.3.21. Результати подано як середні значення  $\pm$  стандартне відхилення. Для перевірки нормальності використовували тест Shapiro-Wilk. Порівняння груп виконували застосовуючи t-тест Велча або тест Тьюкі за нормального розподілу, а для ненормальних розподілів — критерій Крускала-Волліса з поправкою Бонферроні. Статистично значущими вважали результати за  $p < 0,05$ .

## Результати

Аналіз результатів (табл. 1 і 2) демонструє модулюючий ефект  $\text{CO}_2$  на гемограму, який виявляється у зміні як окремих лейкоцитарних показників, так й інтегральних індексів.

У таблицях наведено відносні показники. Значення подано у відсотках на 100 клітин, а « $< 0,01$ » вказує на рівень, який не перевищує межі виявлення методом аналізу. Статистичне дослідження проводили за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу з наступним апостеріорним тестом Тьюкі. Статистично значущу різницю  $***p < 0,001$ ,  $**p < 0,01$ ,  $*p < 0,05$  порівняно з групою контрольної патології (карагенін).

Із метою пошуку нових ефективних методик лікування запальних захворювань проведено дослідження, спрямоване на вивчення протизапальної активності комбінованої терапії традиційних препаратів із використанням  $\text{CO}_2$  та аналізу змін у лейкоцитарній формулі й імунних індексах, що дозволило виявити механізми позитивного впливу  $\text{CO}_2$  під час його застосування в складі як моно-, так і комплексної терапії з традиційними ліками. Отримані результати можуть сприяти розвитку нових підходів до лікування остеоартриту й інших захворювань, пов'язаних із запальними процесами.

У групі II (карагенін) спостерігалось підвищення рівня нейтрофілів: паличкоядерних — на 12,0 %, сегментоядерних — на 24,4 %, а частка лімфоцитів знизилася на 30,1 % порівняно з інтактними тваринами ( $p < 0,05$ ). ІСНМ зріс майже втричі (на 190,9 %,  $p < 0,001$ ), ІСНЛ — на 97,2 % ( $p < 0,001$ ), а ІЗЛ — на 118,5 % ( $p < 0,001$ ), що свідчить про активацію гострої фази запалення.

У групі III (диклофенак) спостерігалось зменшення нейтрофільної активності: паличкоядерні нейтрофіли знизилися на 62,8 %, сегментоядер-

ні — на 24,6 %, тоді як частка лімфоцитів зросла на 31,9 % ( $p < 0,001$ ). ІСНМ зменшився на 28,6 % ( $p < 0,001$ ), ІСНЛ — на 47,3 % ( $p < 0,001$ ), а ІЗЛ — на 43,9 % ( $p < 0,001$ ), що свідчить про зниження інтенсивності запалення й активацію адаптивно-го імунітету.

У групі IV (хондроїтину сульфат) відзначено найвищий рівень сегментоядерних нейтрофілів, який зріс на 52,9 % ( $p < 0,001$ ), тоді як лімфоцити

знизилися на 23,3 % ( $p < 0,001$ ) порівняно з групою II. ІСНМ та ІСНЛ залишалися на високому рівні, що вказує на посилення нейтрофільної відповіді, характерної для гострого запалення.

У групі V (монотерапія CO<sub>2</sub>) спостерігалось зниження ІСНМ на 25,4 % ( $p < 0,001$ ), ІСНЛ — на 46,9 % ( $p < 0,001$ ), а ІЗЛ — на 43,5 % ( $p = 0,015$ ), що свідчить про зменшення нейтрофільної активності.

Таблиця 1

## Вплив карбокситерапії на лейкоцитарну формулу за карагенінового запалення у щурів (M ± SD, n = 8)

Група тварин	Змінено, %	Паличкоядерні нейтрофіли, %	Сегментоядерні нейтрофіли, %	Еозинофіли, %	Моноцити, %	Базофіли, %	Лімфоцити, %
Інтактна	не виявлено (< 0,01) ± 0	не виявлено (< 0,01) ± 0	21,60 ± 3,543	2,13 ± 0,641	3,13 ± 0,991	не виявлено (< 0,01) ± 0	73,00 ± 3,550
II	12,00 ± 0,586	4,38 ± 0,916	24,40 ± 3,623	6,00 ± 1,069	1,75 ± 1,035	0,125 ± 0,354	51,00 ± 2,730
III	5,25 ± 1,035	1,63 ± 0,518***	18,40 ± 1,408**	5,38 ± 1,923	1,50 ± 0,535	0,125 ± 0,354	67,30 ± 1,040***
IV	3,75 ± 1,282	3,50 ± 0,756	37,30 ± 3,732***	14,00 ± 2,507***	3 ± 0,756	не виявлено (< 0,01) ± 0	39,10 ± 2,170***
V	3,00 ± 1,195	2,75 ± 1,165**	33,00 ± 0,926***	6,50 ± 1,309	2,38 ± 0,518	не виявлено (< 0,01) ± 0	52,40 ± 3,160
VI	не виявлено (< 0,01) ± 0	2,50 ± 1,309***	18,30 ± 2,765**	3,38 ± 0,518*	3 ± 1,069	не виявлено (< 0,01) ± 0	72,90 ± 2,590***
VII	0,50 ± 0,535	3,00 ± 0,756*	17,60 ± 5,097**	4,25 ± 1,488	2,50 ± 1,604	не виявлено (< 0,01) ± 0	72,40 ± 4,720***
Вірогідні міжгрупові відмінності	$\chi^2 = 51,20$ $p < 0,001$	$\chi^2 = 37,90$ $p < 0,001$	F = 118,00 $p < 0,001$	F = 38,40 $p < 0,001$	F = 5,23 $P = 0,002$	$\chi^2 = 5,09$ $p = 0,532$	F = 224,00 $p < 0,001$
Normality Test (Shapiro-Wilk)	W = 0,836 $p < 0,001$	W = 0,955 $p = 0,036$	W = 0,988 $p = 0,862$	W = 0,968 $p = 0,149$	W = 0,982 $p = 0,589$	W = 0,382 $p < 0,001$	W = 0,991 $p = 0,953$

Примітки: \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

Таблиця 2

## Вплив карбокситерапії на інтегральні індекси імунної відповіді у щурів у разі карагенінового запалення (M ± SD, n = 8)

Група тварин	ІСНМ	ІСЛМ	ІСНЛ	ІЗЛ	ЛІ	ІП
Інтактна	7,19 ± 2,31	25,4 ± 7,75	0,286 ± 0,0603	0,303 ± 0,0651	3,623 ± 0,738	26,1 ± 7,97
II	20,92 ± 8,89	38,3 ± 17,90	0,564 ± 0,0660	0,662 ± 0,0486	1,791 ± 0,191	43,0 ± 20,24
III	14,94 ± 5,27	50,5 ± 18,20	0,297 ± 0,0220***	0,371 ± 0,0279***	3,376 ± 0,246***	54,9 ± 20,75
IV	14,53 ± 4,78	13,8 ± 3,79	1,048 ± 0,1502***	1,306 ± 0,1472	0,970 ± 0,124	18,7 ± 4,81
V	15,60 ± 2,95	23,0 ± 5,08	0,686 ± 0,0738*	0,776 ± 0,0835	1,471 ± 0,155	25,9 ± 5,67
VI	6,61 ± 2,72***	22,7 ± 5,86	0,286 ± 0,0641***	0,318 ± 0,0587***	3,637 ± 0,770***	23,7 ± 6,04
VII	11,47 ± 8,69*	37,1 ± 22,89	0,290 ± 0,0938***	0,337 ± 0,0843***	3,847 ± 1,421***	39,0 ± 23,44
Вірогідні міжгрупові відмінності	F = 11,40 $p < 0,001$	F = 9,32 $\chi^2 = 25,7$ $p < 0,001$	$\chi^2 = 44,1$ $p < 0,001$	F = 101,00 $p < 0,001$	$\chi^2 = 44,1$ $p < 0,001$	F = 5,63 $p = 0,001$
Normality Test (Shapiro-Wilk)	W = 0,983 $p = 0,594$	W = 0,963 $p = 0,086$	W = 0,942 $p = 0,010$	W = 0,985 $p = 0,687$	W = 0,917 $p < 0,001$	W = 0,973 $p = 0,244$

Примітки: \* —  $p < 0,05$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

Комбінація CO<sub>2</sub> із диклофенаком натрію (група VI) забезпечила зниження ІСНМ на 68,3 % (p < 0,001), ІСНЛ — на 49,3 % (p < 0,001), а ІЗЛ — на 51,9 % (p < 0,001). ЛІ зріс на 103,1 % (p < 0,001), а частка лімфоцитів — на 42,9 % (p < 0,001), що підтверджує активацію адаптивного імунітету.

У групі VII (CO<sub>2</sub> + хондроїтину сульфат) ІСНМ знизився на 45,5 % (p = 0,026), ІСНЛ — на 48,6 % (p = 0,014), а ІЗЛ — на 49,1 % (p < 0,001). ЛІ зріс на 121,7 % (p < 0,001), а частка лімфоцитів збільшилася на 42,0 % (p < 0,001), що свідчить про зниження запалення й активацію імунної відповіді.

Порівняння груп III (диклофенак натрію) та VI (диклофенак натрію + CO<sub>2</sub>) показало, що комбінована терапія значно посилює протизапальний ефект. ІСНМ у групі VI знизився на 55,8 % порівняно з групою III (p < 0,001), ІСНЛ — на 3,7 % (p < 0,001), а ІЗЛ — на 14,3 % (p < 0,001). ЛІ зріс на 7,7 % (p < 0,05), а частка лімфоцитів збільшилася на 8,3 % (p < 0,001). Ці результати свідчать про синергічну дію CO<sub>2</sub> із диклофенаком, яка знижує нейтрофільну активність і підсилює адаптивну імунну відповідь.

Порівняння груп IV (хондроїтину сульфат) та VII (хондроїтину сульфат + CO<sub>2</sub>) демонструє подібну тенденцію. ІСНМ у групі VII знизився на 21,1 % порівняно з групою IV (p < 0,05), ІСНЛ — на 72,3 % (p < 0,001), а ІЗЛ — на 25,8 % (p < 0,001). ЛІ збільшився на 194,2 % (p < 0,001), а частка лімфоцитів зросла на 85,2 % (p < 0,001). Ці зміни підтверджують, що додавання CO<sub>2</sub> до хондроїтину посилює протизапальний ефект і значно активізує адаптивну імунну відповідь.

Отримані результати підкреслюють, що CO<sub>2</sub> має важливе значення як у монотерапії, так і в комбінації з протизапальними препаратами, посилюючи їхній ефект і сприяючи зменшенню запальної активності.

## Обговорення

Проведені нами дослідження підтверджують, що карбокситерапія (CO<sub>2</sub>) є перспективною методикою в модулюванні запальних і регенераторних процесів. Спостереження також показало, що комбіноване застосування CO<sub>2</sub> із диклофенаком натрію або хондроїтину сульфатом є більш ефективним щодо зниження запальної активності та посилення адаптивної імунної відповіді, ніж використання кожного компонента окремо. Найбільший ефект продемонстровано за умов комбінованої терапії CO<sub>2</sub> із диклофенаком, де спостерігалось зниження показника ІСНМ на 68,3 % (p < 0,001) та підвищення ЛІ на 103,1 % (p < 0,001)

порівняно з групою патології. У групі «CO<sub>2</sub> + хондроїтину сульфат» ІСНМ зменшився на 45,5 % (p = 0,026), а ЛІ зріс на 121,7 % (p < 0,001). Важливо, що CO<sub>2</sub> посилює протизапальну дію традиційних препаратів, дозволяючи зменшити їхню дозування у 2 рази і, таким чином, знизити ризик побічних ефектів. Подібний синергічний ефект CO<sub>2</sub> також спостерігався в клінічних дослідженнях за участі пацієнтів із посттравматичними та післяопераційними ураженнями [9]. Механізми дії CO<sub>2</sub> включають зниження активності NF-κB і MAPK, що пригнічує експресію прозапальних цитокінів [17, 18]. Крім того, гіперкапнічний ацидоз інгібує ERK1/2, сприяючи зменшенню запальної відповіді, що підтверджує роль CO<sub>2</sub> у модуляції клітинного метаболізму [19].

CO<sub>2</sub> активно досліджується та застосовується в багатьох галузях медицини, бо сприяє прискоренню загоєння переломів і підвищенню міцності кісток за рахунок стимуляції мікроциркуляції, оксигенації тканин, а також зниженню рівнів прозапальних цитокінів (HIF-1α, IL-1β, IL-6) і підвищенню експресії факторів, які продукують регенерацію (VEGF, TGF-β) [20]. Дослідження P. Chou та співавторів продемонструвало, що використання децелюляризованої матриці, обробленої супер критичним CO<sub>2</sub>, у поєднанні зі стовбуровими клітинами значно покращує регенерацію тканин і зменшує запалення. Це підтверджує потенціал CO<sub>2</sub> у стимуляції репаративних процесів [21]. У терапії м'язових ушкоджень застосування CO<sub>2</sub>-пасти сприяє підвищенню експресії MyoD і міогеніну, зниженню рівнів IL-1β, IL-6 і TGF-β, а також прискоренню регенерації м'язів через індукцію ефекту Бора [22]. Крім того, використання CO<sub>2</sub> стимулює ангиогенез шляхом регуляції експресії VEGF і TGF-β, що в свою чергу покращує репарацію та відновлення ушкоджених тканин [23, 24]. Таким чином, наявні дані демонструють широкий терапевтичний потенціал застосування вуглекислого газу завдяки його здатності модулювати ключові молекулярні та клітинні процеси, які лежать в основі репаративних механізмів в організмі.

Використання карбокситерапії в ортопедії стає все більш актуальним завдяки її здатності модулювати запальні та регенераторні процеси. Остеоартрит та інші дегенеративні захворювання суглобів часто супроводжуються хронічним запаленням, порушенням кровообігу та прогресуючим ушкодженням хрящової тканини. Оскільки нейтрофіли відіграють центральну роль у патофізіології остеоартриту, модулюючий ефект CO<sub>2</sub> на



їхню активність через вплив на рН та пригнічення NF-κB відкриває нові перспективи для терапевтичного втручання [25]. Крім того, CO<sub>2</sub> посилює протизапальну дію традиційних препаратів, дозволяючи зменшити їх дозування та знизити ризик побічних ефектів. Таким чином, використання карбокситерапії в ортопедії має важливе значення для індивідуалізованого й ефективного лікування остеоартриту та інших дегенеративних захворювань суглобів.

## Висновки

Карбокситерапія продемонструвала значний протизапальний ефект на карагеніновій моделі запалення. Застосування CO<sub>2</sub> як монотерапії знизило індекс співвідношення нейтрофілів і моноцитів на 25,4 % ( $p < 0,001$ ), індекс нейтрофілів і лімфоцитів на 46,9 % ( $p < 0,001$ ) та індекс зсуву лейкоцитів на 43,5 % ( $p = 0,015$ ), що свідчить про зменшення нейтрофільної активності.

Комбінація CO<sub>2</sub> із диклофенаком знизила індекс співвідношення нейтрофілів і моноцитів на 68,3 % ( $p < 0,001$ ) та індекс нейтрофілів і лімфоцитів на 49,3 % ( $p < 0,001$ ), водночас підвищивши лейкоцитарний індекс на 103,1 % ( $p < 0,001$ ). Комбінація CO<sub>2</sub> із хондроїтином також продемонструвала позитивний ефект: зниження індексу співвідношення нейтрофілів і моноцитів на 45,5 % ( $p = 0,026$ ), індексу нейтрофілів і лімфоцитів на 48,6 % ( $p = 0,014$ ) та підвищення лейкоцитарного індексу на 121,7 % ( $p < 0,001$ ). Ці результати вказують на посилення протизапальної дії традиційних препаратів за рахунок додавання CO<sub>2</sub>.

Застосування CO<sub>2</sub> сприяло підвищенню частки лімфоцитів на 42,9 % ( $p < 0,001$ ) у групі CO<sub>2</sub> + диклофенак натрію і на 42,0 % ( $p < 0,001$ ) у групі CO<sub>2</sub> + хондроїтину сульфат, що свідчить про активацію адаптивної імунної відповіді.

Отримані результати на карагеніновій моделі запалення в тварин підтверджують перспективність комбінованого застосування карбокситерапії із диклофенаком чи хондроїтином для модулювання запальних процесів. Ураховуючи ефективність зниження рівня нейтрофільної активності, покращення інтегральних індексів і стимуляцію адаптивної імунної відповіді, подальші дослідження в клініці є доцільними.

Перспективне використання такої комбінованої терапії може забезпечити більш цілеспрямовану корекцію запального процесу в пацієнтів із дегенеративними захворюваннями суглобів, зокрема артрозом колінного та кульшового суглобів. Це дозволить зменшити дозування тради-

ційних протизапальних препаратів, мінімізувати побічні ефекти й посилити регенеративні процеси в уражених тканинах.

**Конфлікт інтересів.** Автор декларує відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Передбачається проведення доклінічного дослідження на моделі моноїод-ацетат-індукованого остеоартрозу (MIA-OA) для оцінки ефективності карбокситерапії як у монотерапії, так і у комбінації з диклофенаком або хондроїтином. У рамках дослідження буде здійснено оцінку впливу комбінованого застосування CO<sub>2</sub> на основні механізми запалення в суглобах, зокрема: аналіз експресії ключових прозапальних цитокінів (IL-1β, IL-6, TNF-α) для визначення протизапального ефекту комбінованого використання карбокситерапії та її потенційної здатності знижувати рівень хронічного запалення у суглобових тканинах і оцінки рівня трансформуючого фактора росту β (TGF-β), з метою визначення впливу CO<sub>2</sub> та його комбінацій на стимуляцію відновлення хрящової тканини.

**Інформація про фінансування.** Автор заявляє про відсутність фінансової зацікавленості при підготовці даної статті. Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

**Внесок авторів.** Автор виконав усю роботу, пов'язану з підготовкою цієї статті.

## Список літератури

- Allen, K. D., Thoma, L. M., & Golightly, Y. M. (2022). Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis and cartilage*, 30(2), 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2021.04.020>
- Woodell-May, J. E., & Sommerfeld, S. D. (2020). Role of inflammation and the immune system in the progression of osteoarthritis. *Journal of orthopaedic research*, 38(2), 253–257. <https://doi.org/10.1002/jor.24457>
- Mukherjee, A., & Das, B. (2024). The role of inflammatory mediators and matrix metalloproteinases (MMPs) in the progression of osteoarthritis. *Biomaterials and biosystems*, 13, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.bbiosy.2024.100090>
- Lee, J. M., Lim, S., Kang, G., Chung, J. Y., Yun, H. W., Jin, Y. J., Park, D. Y., & Park, J. Y. (2024). Synovial fluid monocyte-to-lymphocyte ratio in knee osteoarthritis patients predicts patient response to conservative treatment: a retrospective cohort study. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1), 379. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07475-1>
- Gao, K., Zhu, W., Liu, W., Ma, D., Li, H., Yu, W., Wang, L., Cao, Y., & Jiang, Y. (2019). Diagnostic value of the blood monocyte-lymphocyte ratio in knee osteoarthritis. *The Journal of international medical research*, 47(9), 4413–4421. <https://doi.org/10.1177/0300060519860686>
- Zhou, Q., Liu, J., Xin, L., Hu, Y., & Qi, Y. (2024). Systemic inflammation response index as an emerging biomarker in osteoarthritis patients: a bibliometric and large sample retrospective investigation. *Clinical and experimental rheumatology*, 42(1), 92–103. <https://doi.org/10.55563/clinexprheumatol/tygnk6>
- Lutsenko, R., Moisieieva, N., Sydorenko, A., Ostrovska, H., & Kapustianska, A. (2023). Ways to promote the efficiency of herpetic stomatitis treatment. *Medical Perspectives*, 28(2), 71–76. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2023.2.283255>
- Harmalkar, D. S., Sivaraman, A., Nada, H., Lee, J., Kang, H., Choi, Y., ... & Lee, K. (2024). Natural products as IL-6 inhibitors for inflammatory diseases: Synthetic and SAR perspective. *Medicinal research reviews*, 44(4), 1683–1726. <https://doi.org/10.1002/med.22022>
- Ratano, S., Jovanovic, B., & Ouabo, E. C. (2023). Effects of the percutaneous carbon dioxide therapy on post-surgical

- and post-traumatic hematoma, edema and pain. *Journal of orthopaedic case reports*, 13(12), 11–17. <https://doi.org/10.13107/jocr.2023.v13.i12.4058>
10. Brochado, T. M. M., de Carvalho Schweich, L., Di Pietro Simões, N., Oliveira, R. J., & Antonioli-Silva, A. C. M. B. (2019). Carboxytherapy: Controls the inflammation and enhances the production of fibronectin on wound healing under venous insufficiency. *International wound journal*, 16(2), 316–324. <https://doi.org/10.1111/iwj.13031>
  11. El-Domyati, M., El-Din, W. H., Medhat, W., Khaled, Y., & Ibrahim, M. R. (2024). Carboxytherapy versus its combination with fractional CO<sub>2</sub> laser for the treatment of striae distensae: An objective, right-to-left, comparative study. *Journal of clinical and aesthetic dermatology*, 17(10), E69–E75
  12. Rivers, R. J., & Meininger, C. J. (2023). The tissue response to hypoxia: How therapeutic carbon dioxide moves the response toward homeostasis and away from instability. *International journal of molecular sciences*, 24(6), 5181. <https://doi.org/10.3390/ijms24065181>
  13. Elimban, V., Xu, Y. J., Bhullar, S. K., & Dhalla, N. S. (2023). Modification of peripheral blood flow and angiogenesis by CO<sub>2</sub> water-bath therapy in diabetic skeletal muscle with or without ischemia. *Biomedicines*, 11(12), 3250. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11123250>
  14. Elimban, V., Xu, Y. J., Bhullar, S. K., & Dhalla, N. S. (2020). Temperature-dependent effects on CO<sub>2</sub> water bath therapy induced changes in blood flow and vascularity in hind limb ischemia. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 98(4), 228–235. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0537>
  15. Voloshchuk, O. M., Luchyk, T. V., & Kopylchuk, G. P. (2021). Indicators of immunoreactivity in rats under conditions of different nutrition regimen. *The animal biology*, 23(1), 12–17. <https://doi.org/10.15407/animbiol23.01.012>
  16. Voloshchuk, O. M. (2024). Peculiarities of immunoreactivity in rats under conditions of toxic damage by acetaminophen against the background of protein deficiency. *Biological systems*, 23(1), 24–30. <https://doi.org/10.31861/biosystems2024.01.024>
  17. Gałgańska, H., Jarmuszkiewicz, W., & Gałgański, L. (2023). Carbon dioxide and MAPK signalling: towards therapy for inflammation. *Cell communication and signaling: CCS*, 21(1), 280. <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01306-x>
  18. Gałgańska, H., Jarmuszkiewicz, W., & Gałgański, L. (2021). Carbon dioxide inhibits COVID-19-type proinflammatory responses through extracellular signal-regulated kinases 1 and 2, novel carbon dioxide sensors. *Cellular and molecular life sciences (CMLS)*, 78(24), 8229–8242. <https://doi.org/10.1007/s00018-021-04005-3>
  19. Casalino-Matsuda, S., Berdnikovs, S., Wang, N., Nair, A., Gates, K., Beitel, G., & Sporn, P. (2021). Hypercapnia selectively modulates LPS-induced changes in innate immunity and DNA replication-related gene transcription in macrophages. *Interface Focus*, 11. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2020.0039>
  20. Oda, T., Iwakura, T., Fukui, T., et al. (2020). Effect of continuous transcutaneous CO<sub>2</sub> application on fracture healing in rats. *Journal of orthopaedic science*. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.09.017>
  21. Chou, P., Lin, Y., Wu, S., et al. (2020). Supercritical decellularized CO<sub>2</sub> porcine dermal matrix combined with adipose-derived stem cells: its role in accelerated diabetic wound healing. *International journal of medical sciences*, 17, 354–367. <https://doi.org/10.7150/ijms.41155>
  22. Hirota, J., Hasegawa, T., Inui, A., et al. (2023). Local application of a transcutaneous carbon dioxide paste prevents excessive scarring and promotes muscle regeneration in a bupivacaine-induced rat model of muscle injury. *International wound journal*, 20(4), 1151–1159. <https://doi.org/10.1111/iwj.13974>
  23. Periasamy, S., Chen, Y. J., Hsu, D. Z., & Hsieh, D. J. (2024). Collagen type II solution extracted from supercritical carbon dioxide decellularized porcine cartilage: regenerative efficacy on post-traumatic osteoarthritis model. *Bioresources and bioprocessing*, 11(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00731-1>
  24. Amano-Iga, R., Hasegawa, T., Takeda, D., Murakami, A., Yatagai, N., Saito, I., Arimoto, S., Kakei, Y., Sakakibara, A., & Akashi, M. (2021). Local application of transcutaneous carbon dioxide paste decreases inflammation and accelerates wound healing. *Cureus*, 13(11), e19518. <https://doi.org/10.7759/cureus.19518>
  25. Mehrani, Y., Junqani, R., Morovati, S., Mehrani, H., Karimi, N., & Ghasemi, S. (2023). The significance of neutrophils in osteoarthritis: current concepts and therapeutic perspectives. *Immuno*, 3(3), 195–211. <https://doi.org/10.3390/immuno3030017>

Стаття надійшла до редакції 17.12.2024	Отримано після рецензування 17.01.2025	Прийнято до друку 20.02.2025
---	---	---------------------------------

## THE EFFECT OF CO<sub>2</sub> THERAPY AND ITS COMBINATIONS ON INFLAMMATORY ACTIVITY AND IMMUNE STATUS: AN EXPERIMENTAL STUDY

V. V. Shtroblia

Uzhhorod National University. Ukraine

✉ Viktor Shtroblia, MD: viktor.shtroblia@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-3299-4329>

УДК 616.717.4-001.5-007.234:617.572-089.168

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025137-44>

## Аналіз післяопераційних ускладнень у разі хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки в пацієнтів зі зниженням мінеральної щільності кісткової тканини

В. Б. Макаров<sup>1,2</sup>, М. О. Корж<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

<sup>2</sup> КНП «Міська клінічна лікарня № 16» ДМР, Дніпро, Україна

*Objective.* To conduct a comparative retrospective analysis of the impact of postoperative complications on functional outcomes following different surgical treatment methods for proximal humeral fractures of AO/OTA types 11-B and 11-C in patients over 45 years old with decreased bone mineral density. *Methods.* The study analyzed the surgical treatment outcomes and postoperative complications in 102 patients aged  $(61.1 \pm 8.1)$  years, who were divided into three groups based on the treatment method: (1) open reduction and internal fixation (ORIF) using a PHILOS plate ( $n = 50$ ); (2) ORIF with a PHILOS plate combined with 3D-printed PLA implants ( $n = 44$ ); (3) primary reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) using a newly developed total reverse endoprosthesis ( $n = 8$ ). Functional outcomes in patients with complications were assessed using the Constant-Murley Score at 3, 6, and 12 months postoperatively and analyzed based on individual preoperative parameters and treatment methods. *Results.* A total of 30 postoperative complications were recorded, the most common being superficial infection (7.8 % of the total population), secondary displacement (6.9 %), varus malalignment of fragments (6.9 %), and avascular necrosis of the humeral head (3.9 %). The highest number of complications was observed in Group (1), with 19 patients affected, accounting for 38 %. For all complications except avascular necrosis, a significant improvement in functional outcomes was observed between 3 and 12 months postoperatively. The mean Constant-Murley Score in patients with complications at 12 months postoperatively was  $(78.7 \pm 8.5)$ . *Conclusions.* A retrospective analysis of postoperative complications following different surgical treatment methods established that, compared to other options, reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) is a modern and optimal surgical treatment option for proximal humeral fractures of AO/OTA types 11-B or 11-C in the context of severe bone mineral density reduction, particularly in elderly patients. *Keywords:* Proximal humerus fracture, reverse total shoulder arthroplasty, RTSA, complications, Constant-Murley Score, reduced bone mineral density, functional assessment.

*Мета.* Провести порівняльний ретроспективний аналіз впливу післяопераційних ускладнень на функціональні результати за різних методик хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки типів AO/OTA 11-B, 11-C у пацієнтів старших за 45 років із зниженням мінеральної щільності кісткової тканини. *Методи.* Вивчено результати хірургічного втручання та післяопераційні ускладнення в 102 осіб віком  $(61,1 \pm 8,1)$  року, які за методом лікування розділені на 3 групи: (1) відкрита репозиція та накістковий металоостеосинтез пластиною PHILOS ( $n = 50$ ); (2) відкрита репозиція та накістковий металоостеосинтез пластиною PHILOS із використанням 3D-імплантів PLA ( $n = 44$ ); (3) первинне RTSA розробленим тотальним реверсивним ендопротезом ( $n = 8$ ). Функціональні результати пацієнтів із ускладненнями оцінювали за системою Constant-Murley Score через 3, 6, 12 міс. після хірургічного втручання й аналізували залежно від індивідуальних передопераційних показників і методики лікування. *Результати.* Усього зафіксовано 30 випадків післяопераційних ускладнень, з яких найпоширенішими були поверхнева інфекція (7,8 % від загальної популяції), вторинне зміщення (6,9 %), варусне зміщення відламків (6,9 %), аваскулярний некроз головки плечової кістки (3,9 %). Найбільша кількість ускладнень зафіксована в (1) групі — 19 осіб (38 %). Для всіх видів ускладнень, окрім аваскулярного некрозу, встановлено достовірне покращення функціональних результатів у терміни з 3 до 12 міс. Середній бал Constant-Murley Score в осіб з ускладненнями через 12 міс. після втручання становив  $(78,7 \pm 8,5)$ . *Висновки.* Ретроспективний аналіз післяопераційних ускладнень за різних методик хірургічного лікування довів, що RTSA є сучасним і оптимальним варіантом операції проксимальних переломів плечової кістки AO/OTA 11-B або 11-C на фоні вираженого зниження мінеральної щільності кісткової тканини, особливо в пацієнтів похилого віку.

**Ключові слова.** Перелом проксимального відділу плечової кістки, реверсивна тотальна артропластика плечового суглоба, RTSA, ускладнення, Constant-Murley Score, мінеральна щільність кісткової тканини, функціональне оцінювання



## Вступ

Переломи проксимального відділу плечової кістки (ПВПК) є другими за поширеністю травмами верхньої кінцівки та складають у структурі її ушкоджень від 40 до 82 %, а серед ушкоджень опорно-рухової системи — 5–7 % [1, 2]. Останнім часом у розвинених країнах світу це питання все частіше розглядається не лише як медична проблема, а й як причина значних економічних втрат, оскільки травми плеча та біль, який виникає внаслідок цього, є підставою зниження якості життя, бо призводить до значної середньої кількості днів лікарняного. Так, наприклад, серед працездатного населення до 30 % пацієнтів повідомляють про щоденний біль у плечовому суглобі протягом року після травми [3, 4]. Порушення функції верхньої кінцівки, зокрема плеча, створює критичні обмеження професійної та повсякденної діяльності, призводить до погіршення здоров'я через зменшення активності, зниження доходу та загальної якості життя. Тому значна частка ускладнень і повторних втручань у разі хірургічного лікування травм плечового суглоба стає справжнім викликом для системи охорони здоров'я у світі [3, 4]. Переважно ушкодження ППВК спостерігають у пацієнтів вікової групи старше 50 років на фоні зниження мінеральної щільності кісткової тканини, що ускладнює вибір оптимальної методики лікування для забезпечення стабільної фіксації і ранньої мобілізації рухів [5–8]. На відміну від більшості двофрагментарних переломів ПВПК, коли вдається отримати хороші функціональні результати під час консервативного лікування, у разі нестабільних 3- та 4-фрагментарних переломів ПВПК (АО/ОТА 11-В, 11-С), які найбільш поширені у віковій групі старше 50 років, позитивних результатів можливо досягти лише за допомогою хірургічного втручання [9, 10].

Останнім часом під час лікування переломів ПВПК у пацієнтів на фоні зниження мінеральної щільності кісткової тканини спостерігається збільшення частки застосування реверсивної тотальної артропластики плечового суглоба (RTSA), як порівняти з відкритою репозицією та внутрішньою фіксацією (ORIF) та геміартропластикою (НА) [11–14]. Завдяки біомеханічно доведеним принципам функціонування та конструктивним особливостям реверсивних ендопротезів RTSA, значно покращили функціональні результати за оцінкою Constant-Murley Score, бо вони забезпечують відносно кращий вплив на пов'язану зі здоров'ям якість життя, ніж інші методики лі-

кування [15]. Проте загалом частка ускладнень і повторних операцій за травм плечового суглоба все ще залишається високою, а аналіз ускладнень і функціональних результатів у осіб із переломами ПВПК є актуальним. Так, за повідомленнями французького дослідження, пацієнти з болем у плечовому суглобі втратили від 1,8 до 8,1 року роботи протягом 9-річного періоду спостереження, зниження якості життя може зберігатися навіть після виходу на пенсію [4]. Зазначається недостатня якість досліджень і нестача в літературі даних щодо відносної частки ускладнень під час хірургічного лікування ПВПК та їх розподілу за типами [16]. Показники здебільшого отримані з метааналізів або інформації, узагальненої різними клініками і навіть країнами, що ускладнює прогноз ефективності оперативного лікування переломів ПВПК і прийнятної для пацієнта динаміки функціональних результатів або необхідності повторних втручань.

*Мета:* провести порівняльний ретроспективний аналіз впливу післяопераційних ускладнень на функціональні результати за різних методик хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки типів АО/ОТА 11-В, 11-С у пацієнтів старших за 45 років зі зниженням мінеральної щільності кісткової тканини.

## Матеріал і методи

Матеріали дослідження розглянуто й ухвалено комітетом із біоетики при ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (протокол № 191 від 22.04.2019 р., № 229 від 20.02.2023 р.). Усі залучені до дослідження пацієнти ознайомлені з планом хірургічних втручань і підписали інформовану згоду.

Вивчено анатомо-функціональні результати оперативного лікування 102 осіб (середній вік  $61,1 \pm 8,1$ ; діапазон 45–78 років) зі зниженням мінеральної щільності кісткової тканини і три- та 4-фрагментарними переломами ПВПК типів 11-В, 11-С за класифікацією АО/ОТА, а також післяопераційні ускладнення, які зафіксовано в цій популяції. Ступінь вираженості зниження мінеральної щільності кісткової тканини визначали за рентгенограмами плечової кістки в передньо-задній проекції з обчисленням кіркового індексу (КІ). За методикою лікування пацієнтів розподілили на групи таким чином:

– I — відкрита репозиція, накістковий металоостеосинтез пластиною PHILOS, період 2009–2022 р. (n = 50);



– II — застосовано відкриту репозицію та на-кiстковий металоостеосинтез пластиною PHILOS із використанням 3D-імплантатів PLA, період 2015–2022 р. (n = 44);

– III — проведено первинне RTSA розробленим тотальним реверсивним ендопротезом, показанням до якого у всіх випадках були переломи типу АО/ОТА 11-В або 11-С на фоні вираженого зниження мінеральної щільності кісткової тканини; період 2015–2023 р. (n = 8).

Докладно методику проведення операцій, а також здійснення обстежень у перед- та післяопераційному періодах описано в попередній роботі [17]. Функціональні результати саме лікування оцінювали за системою Constant-Murley Score через 3, 6, 12 міс. після хірургічного втручання, а пацієнтів із ускладненнями аналізували залежно від індивідуальних передопераційних показників і методик лікування.

У статистичному аналізі категоріальні змінні були подані у відсотках, демографічні дані — як середні значення та діапазони, а кількісні оцінки наведені як середні значення вибірки і стандартні відхилення (SD), виражені як  $(M \pm SD)$ . Для візуалізації порівняння вибірових значень побудовано графіки з маркерами SD. Під час вивчення відмінностей середніх значень використовували ANOVA та тест Тьюкі з рівнем значущості  $p < 0,01$ .

## Результати

За результатами лікування 102 пацієнтів зафіксовано 30 випадків післяопераційних ускладнень. Їхній розподіл за видами та групами лікування (табл. 1) показав вищу кількість ускладнень у I групі як за абсолютним значенням, так і за часткою.

У I групі в 4 осіб (2 жінки, 2 чоловіки) внаслідок несприятливого результату ORIF (відсутність ознак консоїдації, міграція металоконструкції) діагностовано аваскулярний некроз головки плечової кістки, тому їм видалено конструкцію та проведено RTSA протягом від 6 до 12 міс. після первинного хірургічного втручання; у 6 осіб через місяць після операції виявлено вторинне зміщення великого горбка до 10–15 мм; у 2 хворих відбулася варусна міграція головки без суттєвого порушення функції плечового суглоба; у одного з пацієнтів виникла повна дестабілізація метало-конструкції, що призвело до її видалення вже через 3 міс. після встановлення.

У II групі в післяопераційному періоді в однієї хворої сталася перфорація фрагмента го-

Таблиця 1

### Розподіл післяопераційних ускладнень за видами та групами лікування

Ускладнення	Група		
	I (n = 50)	II (n = 44)	III (n = 8)
Поверхнева інфекція	5	2	1
Вторинне зміщення	6	1	—
Варусне зміщення уламків	2	5	—
Аваскулярний некроз головки плечової кістки	4	—	—
Перфорація фрагмента головки плечової кістки гвинтом	1	1	—
Дестабілізація металоконструкції	1	—	—
Вивих ендопротеза	—	—	1
Разом	19	9	2

ловки плечової кістки гвинтом через 6 тижнів після операції, і його видалили під контролем С-Артм через прокол шкіри під місцевою анестезією; в одного пацієнта через 3 міс. після хірургічного втручання відбулося вторинне зміщення малого горбка до 8–10 мм; у 5 осіб діагностовано варусне зміщення головки плечової кістки до 5 мм, проте це не привело до перфорації гвинтами. Ознак аваскулярного некрозу головки плечової кістки у хворих II групи не зафіксовано.

У III групі серед пацієнтів зафіксовано один випадок поверхневої інфекції та один вивих ендопротеза.

Поверхневу інфекцію у всіх випадках усували антибактеріальною місцевою та системною терапією.

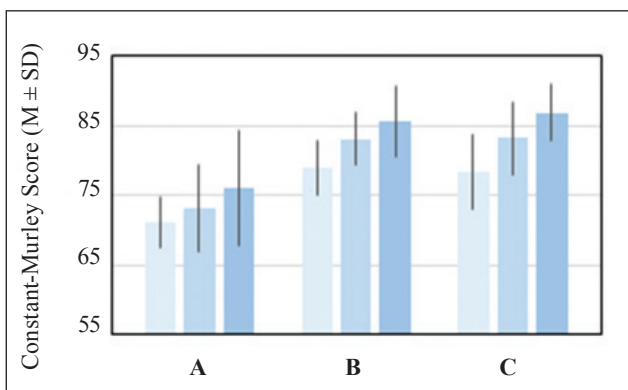
Для визначення напрямів подальшого аналізу розглянуто демографічні та передопераційні показники хворих (табл. 2). У межах вікового діапазону пацієнтів 45–78 років поділ на вікові підгрупи проведено з 10-річним інтервалом групування, а саме 45–54, 55–64 та 65–78 років; останню підгрупу розширено до 78 років, оскільки загалом було лише 6 осіб старше 75 років і виділення їх в окрему вікову підгрупу недоцільне.

За середнім віком, співвідношеннями за статтю та за стороною ушкодження відмінностей між підгрупами пацієнтів з ускладненнями та без них не було. Серед хворих вікових підгруп 55–64 та 65–78 років ускладнення зафіксовано в середньому удвічі частіше, ніж в осіб віком 45–54 роки. У підгрупі пацієнтів з ускладненнями частка переломів типу 11-С вища, як порівняти з хворими без ускладнень.

Таблиця 2

## Демографічні та передопераційні показники пацієнтів (N = 102)

Показник	Пацієнт		Категорія	Особа	
	з ускладненнями	без ускладнень		з ускладненнями	без ускладнень
Кількість (частка)	30 (29,4 %)	72 (70,6 %)			
Вік, роки	63,2 ± 7,6	60,3 ± 8,2			
Стать, кількість (частка): жінки/чоловіки	23 (76,7 %) / 7 (23,3 %)	55 (76,4 %) / 17 (23,6 %)	Вікова група, кількість (частка): 45–54 років (n = 19) 55–64 років (n = 44) 65–78 років (n = 39)	3 (15,8 %) 13 (29,5 %) 14 (35,9 %)	16 (84,2 %) 31 (70,5 %) 25 (64,1 %)
Сторона ушкодження, кількість (частка): права/ліва	22 (73,3 %) / 8 (26,7 %)	56 (77,8 %) / 16 (22,2 %)	Методика лікування, кількість (частка): І група (n = 50) ІІ група (n = 44) ІІІ група (n = 8)		
Тип перелому за АО/ОТА, кількість (частка): 11-B / 11-C	17 (56,7 %) / 13 (43,3 %)	54 (75,0 %) / 18 (25,0 %)		19 (38,0 %) 9 (20,5 %) 2 (25,0 %)	31 (62,0 %) 35 (79,5 %) 6 (75,0 %)



**Рис. 1.** Функціональні результати пацієнтів з ускладненнями та без них; вісь X — підгрупи порівняння: А — ускладнення за виключенням поверхневої інфекції (n = 22), В — поверхнева інфекція (n = 8), С — без ускладнень (n = 72). Значення для різних термінів після втручання (міс.) позначені різними кольорами: світло-блакитний — 3, блакитний — 6, синій — 12

Під час аналізу показників мінеральної щільності кісткової тканини для осіб без ускладнень кірковий індекс становив ( $0,386 \pm 0,020$ ), із ускладненнями — ( $0,374 \pm 0,025$ ), причому серед пацієнтів, які мали КІ в межах  $0,38 \div 0,40$  частка ускладнень складала 20,2 %, у разі  $\text{КІ} \leq 0,36$  — вже 53,6 %.

За порівняння функціональних результатів пацієнтів за шкалою CMS у межах кожного окремого часу спостереження (3, 6 і 12 міс. після втручання) не отримано достовірної різниці між показниками хворих із поверхневою інфекцією (n = 8) та осіб без ускладнень: водночас середні значення у цих підгрупах мали достовірні ( $p = 0,005 < 0,01$ ) позитивні зміни від 3 до 12 міс. спостереження (рис. 1). З урахуванням досягнення хворими з поверхневою інфекцією функціонального результату на рівні осіб без ускладнень,

їхні дані не бралися до уваги під час подальшого вивчення післяопераційних ускладнень.

Для наступного дослідження обрано три підгрупи найбільш поширених ускладнень, кількість яких дозволяє провести порівняльний аналіз, а саме: вторинне зміщення (n = 7), варусне зміщення уламків (n = 7), аваскулярний некроз головки плечової кістки (n = 4). Оскільки в загальній популяції частка ускладнень різна за різних типів перелому та значень показників мінеральної щільності кісткової тканини, для обраних підгруп проведено більш детальний розгляд індивідуальних передопераційних показників пацієнтів, який виявив різні як частку переломів типу АО/ОТА 11-B і 11-C, так і середні значення КІ для цих підгруп (табл. 3): варусне зміщення уламків спостерігалось переважно після переломів типу 11-B, вторинне зміщення — за 11-C, аваскулярний некроз головки плечової кістки — у разі 11-C за значень  $\text{КІ} \leq 0,36$ .

Для підгруп хворих із трьома найбільш поширеними у цьому дослідженні післяопераційними ускладненнями також проведено аналіз динаміки показників за шкалою Constant-Murley Score через 3, 6 і 12 міс. після втручання (табл. 3). Встановлено достовірне покращення функціональних результатів пацієнтів із вторинним зміщенням у термін з 3 до 6 міс. ( $p = 0,001 < 0,01$ ), а для осіб із варусним зміщенням уламків — з 3 до 12 міс. після травми ( $p = 0,003 < 0,01$ ). У хворих із аваскулярним некрозом головки плечової кістки показники Constant-Murley Score погіршилися з ( $72,5 \pm 2,9$ ) через 3 міс. до ( $62,5 \pm 2,9$ ) через 6 міс. після втручання.

Таблиця 3

## Передопераційні показники та функціональні результати пацієнтів за видами ускладнень

Показник	Вторинне зміщення (n = 7)	Варусне зміщення уламків (n = 7)	Аваскулярний некроз головки плечової кістки (n = 4)
Частка у загальній популяції	6,9 %	6,9 %	3,9 %
Вік, роки	58,8 ± 9,5	67,9 ± 4,2	66,3 ± 8,2
Кірковий індекс	0,380 ± 0,020	0,366 ± 0,018	0,358 ± 0,005
Кількість (частка) переломів 11-B / 11-C за АО/ОТА	2 (28,6 %) / 5 (71,4 %)	6 (85,7 %) / 1 (14,3 %)	1 (25 %) / 3 (75 %)
Constant-Murley Score через – 3 міс.	70,9 ± 2,3* **	70,0 ± 5,0*	72,5 ± 2,9* **
– 6 міс.	75,7 ± 1,9**	75,0 ± 5,0	62,5 ± 2,9**
– 12 міс. після втручання	77,1 ± 3,9*	81,4 ± 6,3*	62,5 ± 2,9*

*Примітка.* Різна кількість \* позначає значення, які достовірно відрізняються одне від одного в межах одного стовпчика таблиці за результатами порівняння за допомогою тесту Тьюкі.

## Обговорення

Демографічні показники пацієнтів, які брали участь у дослідженні, та, зокрема, підгрупи з ускладненнями, відповідають відомим світовим тенденціям щодо поширеності переломів ПВПК переважно у віковій категорії осіб старше 50 років [2] та середнім європейським показникам у 2–3 рази більшого рівня таких переломів серед жінок [1, 6, 7].

Загальна частка ускладнень у досліджуваній популяції становила 29,4 %, найвище значення за групами лікування — 38 % у I групі. Систематичні огляди та звіти про дослідження останніх років містять суперечливі значення й оцінювання щодо частки післяопераційних ускладнень за різних методик хірургічного лікування переломів ПВПК.

У роботі [18] повідомляється, зокрема, що під час застосування ORIF для лікування переломів ПВПК у 173 пацієнтів, старших 60 років, рівень ускладнень становив 44 %, повторних операцій — 11 %; причому в осіб із 3-фрагментарними переломами рівень невдач дорівнював 39 %, із 4-фрагментарними — 45 %. Середній рівень ускладнень після операції на плечовому суглобі становив 42,6 % [1]. За даними [19] за RTSA загальна частота ускладнень склала 12,1 %, найчастішим виявився вивих (2,5 %). Зазначається також, що порівняно з пацієнтами після ORIF або геміартропластики, особи, яким виконано RSA, — старшого віку або жінки, мають вищий індекс коморбідності Чарлсона. У хворих, яким здійснено ORIF, зафіксовано вищу частоту як ускладнень (23,03 проти 18,62 %), так і повторних операцій (20,3 % порівняно з 10,3 %), ніж у пацієнтів, яким виконали RSA [12]. Після ревізійного ендо-

протезування плечового суглоба ускладнення виникли у 34 % випадків, 20 % хворих вимагали повторної операції [20].

Зафіксована в цих роботах частка пацієнтів з аваскулярним некрозом складає 3,9 % збігається з результатами інших дослідників (4 %) [1].

Таким чином, виявлені в цьому спостереженні загальна частка ускладнень і відсоток їхніх окремих типів загалом знаходяться в межах діапазонів оцінок післяопераційних ускладнень, зазначених у літературі для аналогічних типів хірургічних втручань.

Середні показники CMS у підгрупі пацієнтів з ускладненнями менші, ніж у решти хворих (рис. 1), проте результати через 12 міс. після операції, окрім осіб із аваскулярним некрозом, задовільні. Середній бал CMS для хворих із ускладненнями через 12 міс. становив (78,7 ± 8,5). Це свідчить про вдало обрану методику лікування та подолання наслідків ускладнень і відповідає сучасним підходам щодо застосування RTSA — частка ускладнень менша, ніж середня за групою.

Аналіз негативних результатів ORIF хворих I групи, де можна було б використати пористі PLA-імпланти, дозволив запропонувати диференційований підхід до вибору хірургічного лікування для осіб із переломами ПВПК типів АО/ОТА 11-B, 11-C, відповідно до якого в разі KI = 0,4–0,5 вважається доцільним і необхідним виконання ORIF; за умов KI < 0,4 ORIF можливе, з обов'язковим використанням в якості армуючого матеріалу 3D-пористих імплантів із полілактиду; за типів АО/ОТА 11-C; KI < 0,4 у разі технічної неможливості проведення стабільного ORIF необхідно проводити первинне реверсивне тотальне ендопротезування [17].

Первинне використання RTSA у разі переломів ПБПК типу АО/ОТА 11-В, 11-С і за умов технічної неможливості проведення ORIF дозволило отримати в терміни від 6 до 12 міс. після операції позитивні результати у 75 % випадків із середнім балом CMS у підгрупі ( $81,2 \pm 6,4$ ) із відновленням функції плечового суглоба за відсутності ознак нестабільності компонентів ендопротеза [17]. Проте обмеженням цього дослідження є відносно невелика як загальна кількість осіб з RTSA, так і число серед них пацієнтів з ускладненнями, що унеможливило проведення кількісного аналізу для виявлення основних чинників ризику післяопераційних ускладнень під час цієї методики лікування.

У рекомендаціях Європейського товариства травматологічної та невідкладної хірургії (ESTES) щодо переломів ПБПК у людей похилого віку зазначається, що факторами ризику виникнення невдачі в разі застосування НА є вік, стать, наявність осколкових горбків, переломів авульсійного типу та зниження мінеральної щільності кісткової тканини. Існує явна тенденція до зворотного ендопротезування плечового суглоба, особливо в осіб старше 75 років, водночас RTSA, зокрема і вторинне, після іншого хірургічного втручання, забезпечує хороший клінічний результат із невеликою кількістю ревізій [21]. Ця методика вважається золотим стандартом лікування 3- та 4-фрагментарних переломів зі зміщенням у людей похилого віку [16].

Наведена інформація [15] доводить, що консервативна терапія і RTSA пов'язані з меншим ризиком необхідності повторного втручання. У той же час низка авторів вважає, що через складність техніки RTSA хірург повинен мати повний дизайн характеристики перелому, доступних варіантів операції та можливих ускладнень, які можуть виникнути, оскільки саме це підвищить безпеку і забезпечить задовільні клінічні результати [1].

За спостереженнями Tagliero зі співавторами [20], серед пацієнтів із негативними наслідками RTSA 12 % мали стійкі вивихи, а 10 % — рентгенологічні ознаки розхитування ніжки ендопротеза. Аналіз результатів RTSA, включаючи оцінювання попереднього консервативного чи хірургічного лікування перелому ПБПК, типу перелому, виду реверсивного ендопротеза, типу протеза чи остеосинтезу горбків, довів відсутність статистичної значущості факторів, які впливають на ризик вивиху ендопротеза [20]. Молодший вік і наявність цукрового діабету під час RTSA значно підвищують ризик повторного хірургічного

втручання ( $p = 0,013$  та  $p = 0,037$  відповідно). Авторами зазначена тенденція щодо підвищення ризику повторної операції в пацієнтів, яким на першому етапі проведено невдалий ORIF перелому ПБПК (коефіцієнт ризику = 2,95), проте без досягнення статистичної значущості [20].

Під час порівняння двох груп (усього 125 осіб, ORIF у 66 (52,8 %), RTSA у 59 (41,2 %), обидві групи мали порівняльні індекси Чарльсона) доведено, що загальна частота ускладнень становила 37,8 для ORIF і 22,0 % для RTSA, з частотою ревізій 12,1 і 5,1 % відповідно [22]. Багатофакторний аналіз не продемонстрував суттєвих відмінностей між двома типами операцій ( $P = 0,500$ ), проте вік — це незалежний найважливіший фактор щодо отримання загальних ускладнень ( $P = 0,018$ ) [22]. Чинниками ризику серйозних ускладнень за ORIF вважали низьку мінеральну щільність кістки, варусні імпресійні переломи ПБПК, задньомедіальну лінію перелому з відстанню між уламками більше 8 мм, зміщення діафіза  $> 4$  мм і багатофрагментні переломи горбків. Для RTSA більшу кількість ускладнень спостерігали в пацієнтів із вищим індексом Чарльсона, цукровим діабетом і переломами горбків, водночас автори підкреслюють, що система класифікації за Neer не була прогностичною в обох групах [22].

Слід зазначити, що для кожної методики хірургічного втручання під час лікування переломів ПБПК, частота ускладнень останніми роками зменшується [13]. Це пов'язано з покращенням біомеханічних характеристик і дизайну імплантів як для ORIF, так і для RTSA, у поєднанні з накопиченням досвіду хірургів [23]. Важливим чинником є відмова від геміартропластики і надання переваги RTSA у разі переломів ПБПК, особливо в осіб старше 65 років [14].

Таким чином, вибір RTSA порівняно з іншими хірургічними варіантами є сучасним і оптимальним способом лікування проксимальних переломів плечової кістки АО/ОТА 11-В або 11-С на фоні вираженого зниження мінеральної щільності кісткової тканини, особливо в пацієнтів похилого віку.

Проте рекомендації на основі доказів все ще відсутні [21]. У хворих із переломами ПБПК типів АО/ОТА 11-В, 11-С RTSA є надійним варіантом хірургічного лікування з передбачуваними функціональними результатами із невеликою кількістю ревізій [21]. Використання геміартропластики доцільне, якщо фіксація та загоєння горбків є досяжними. На жаль, у більшості переломів це не так. Факторами ризику невдачі є вік,



стать, наявність уламкових переломів горбків, переломів авульсійного типу та низька мінеральна щільність кісток [21].

Так чи можна вважати RTSA золотим стандартом лікування переломів проксимального відділу плечової кістки для людей похилого віку, коли ORIF технічно не можливо, а консервативне лікування не дозволяє позбавити больового синдрому та відновити функцію верхньої кінцівки? Відповіді наразі немає. Дані літератури пропонують переважно низькоякісні дослідження, що вимагає подальшої роботи для досягнення повного розуміння цього важливого питання.

## Висновки

Ретроспективний аналіз післяопераційних ускладнень за різних методик хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки типів АО/ОТА 11-В, 11-С у пацієнтів старших за 45 років із зниженням мінеральної щільності кісткової тканини виявив більшу частку ускладнень в осіб, яким проведено відкриту репозицію та накістковий металоостеосинтез пластиною PHILOS (38 % від випадків групи).

Порівняльний аналіз функціональних результатів з ускладненнями встановив, що пацієнти з поверхневою інфекцією за динамікою функціональних змін протягом терміну спостереження не відрізнялись від осіб без ускладнень ( $p = 0,005 < 0,01$ ); хворі з вторинним та варусним зміщенням уламків мали достовірне покращення функціональних результатів у терміні з 3 до 12 міс. ( $p = 0,001 < 0,01$ ;  $p = 0,003 < 0,01$  відповідно).

Аваскулярний некроз головки плечової кістки у цій популяції зафіксовано лише у пацієнтів, яким проведено відкриту репозицію та накістковий металоостеосинтез пластиною PHILOS, переважно після переломів типу 11-С за значень  $KI \leq 0,36$ . У них показники CMS погіршилися з  $(72,5 \pm 2,9)$  через 3 міс. до  $(62,5 \pm 2,9)$  через 6 міс. після втручання.

RTSA порівняно з іншими методиками є сучасним і оптимальним варіантом хірургічного лікування проксимальних переломів плечової кістки АО/ОТА 11-В або 11-С на фоні вираженого зниження мінеральної щільності кісткової тканини, особливо в пацієнтів похилого віку.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** У перспективі інтерес становлять дослідження із більш детальним аналізом результатів реверсивної артропластики плечового суглоба

з використанням індивідуально надрукованих на лазерному 3D-принтері з пористого титану компонентів ендпротеза.

**Інформація про фінансування.** Жодної вигоди в будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

**Внесок авторів.** Макаров В. Б. — концепція і дизайн, збір та обробка матеріалів, аналіз отриманих даних, написання тексту. Корж М. О. — написання та редагування тексту.

## Список літератури

1. Czarnecki, P., Falis, M., Bonczar, M., Ostrowski, P., Wcislek, J., & Romanowski, L. (2024). Assessing complications and functional outcomes in proximal humerus fracture management: a retrospective comparison between conservative and intramedullary nailing treatments. *European journal of orthopaedic surgery and traumatology: orthopedie traumatologie*, 34(3), 1427–1433. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03822-5>
2. Iglesias-Rodríguez, S., Domínguez-Prado, D. M., García-Reza, A., Fernández-Fernández, D., Pérez-Alfonso, E., García-Piñero, J., & Castro-Menéndez, M. (2021). Epidemiology of proximal humerus fractures. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 16(1), 402. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02551-x>
3. Yanik, E. L., Alvarez, C., Cleveland, R. J., Nelson, A. E., & Golightly, Y. M. (2024). Occupational tasks associated with shoulder pain and upper extremity disability: a cross-sectional study in the Johnston County Osteoarthritis Project. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1), 374. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07487-x>
4. Godeau, D., Fadel, M., & Descatha, A. (2022). Factors associated with limitations in daily life and at work in a population with shoulder pain. *BMC musculoskeletal disorders*, 23, 777. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05638-6>
5. Leino, O. K., Lehtimäki, K. K., Mäkelä, K., Äärämaa, V., & Ekman, E. (2022). Proximal humeral fractures in Finland: trends in the incidence and methods of treatment between 1997 and 2019. *The bone and joint journal*, 104-B(1), 150–156. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.104B1.BJJ-2021-0987.R1>
6. Patel, A. H., Wilder, J. H., Ofa, S. A., Lee, O. C., Iloanya, M. C., Savoie, F. H., 3rd, & Sherman, W. F. (2021). How age and gender influence proximal humerus fracture management in patients older than fifty years. *Journal of shoulder and elbow surgery international*, 6(2), 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.11.007>
7. Patel, A. H., Wilder, J. H., Ofa, S. A., Lee, O. C., Savoie, F. H., 3rd, O'Brien, M. J., & Sherman, W. F. (2021). Trending a decade of proximal humerus fracture management in older adults. *Journal of shoulder and elbow surgery international*, 6(1), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.08.006>
8. Relvas Silva, M., Linhares, D., Leite, M. J., Nunes, B., Torres, J., Neves, N., & Ribeiro Silva, M. (2022). Proximal humerus fractures: epidemiology and trends in surgical management of hospital-admitted patients in Portugal. *Journal of shoulder and elbow surgery international*, 6(3), 380–384. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.12.003>
9. Samborski, S. A., Haws, B. E., Karnyski, S., Soles, G., Gorczyca, J. T., Nicandri, G., Voloshin, I., & Ketz, J. P. (2022). Outcomes for type C proximal humerus fractures in the adult population: comparison of nonoperative treatment, locked plate fixation, and reverse shoulder arthroplasty. *Journal of shoulder and elbow surgery international*, 6(5), 755–762. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2022.05.006>
10. Lin, C. C., Karlin, E., Boin, M. A., Dankert, J. F., Larose, G., Zuckerman, J. D., & Virk, M. S. (2022). Operative Treatment of Proximal Humeral Fractures with Reverse Total Shoulder

- Arthroplasty in Patients  $\geq 65$  Years Old: A Critical Analysis Review. *The journal of bone and joint surgery. reviews*, 10(5), e21.00245. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.21.00245>
11. Larose, G., & Virk, M. S. (2022). The Evolution of Reverse Total Shoulder Arthroplasty and Its Current Use in the Treatment of Proximal Humerus Fractures in the Older Population. *Journal of clinical medicine*, 11(19), 5832. <https://doi.org/10.3390/jcm11195832>
  12. Alrabaa, R. G., Ma, G., Truong, N. M., Lansdown, D. A., Feeley, B. T., Zhang, A. L., & Ma, C. B. (2022). Trends in Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures and Analysis of Postoperative Complications Over a Decade in 384,158 Patients. *The journal of bone and joint surge: open access*, 7(4), e22.00008. <https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.22.00008>
  13. Cognetti, D. J., Arana, A. A., Hoof, M., Mason, G., Lin, A., & Sheean, A. J. (2022). Short-term Complications for Proximal Humerus Fracture Surgery Have Decreased: An Analysis of the National Surgical Quality Improvement Program Database. *Clinical orthopaedics and related research*, 480(11), 2122–2133. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002391>
  14. George N. E. (2022). CORR Insights®: Short-term Complications for Proximal Humerus Fracture Surgery Have Decreased: An Analysis of the National Surgical Quality Improvement Program Database. *Clinical orthopaedics and related research*, 480(11), 2134–2136. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002430>
  15. Zheng, Y., Tang, N., Zhang, W. J., Shi, W., Zhao, W. W., & Yang, K. (2024). Comparative efficacy and safety of medical treatments for proximal humerus fractures: a systematic review and network meta-analysis. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-07053-x>
  16. Vall, M., Natera, L., Witney-Lagen, C., Imam, M. A., Narvani, A. A., Sforza, G., Levy, O., Relwani, J., & Consigliere, P. (2022). Reverse shoulder replacement versus hemiarthroplasty for proximal humeral fracture in elderly patients: a systematic review. *Musculoskeletal surgery*, 106(4), 357–367. <https://doi.org/10.1007/s12306-022-00761-y>
  17. Korzh, M., Makarov, V., Gupalov, I., Pertseva, O., Boyko, K., & Pidgaiska, O. (2023). Results of a differential approach to surgical treatment of proximal humerus fractures in patients with osteoporosis. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, (3-4), 13–21. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-413-21>
  18. Barlow, J. D., Logli, A. L., Steinmann, S. P., Sems, S. A., Cross, W. W., Yuan, B. J., Torchia, M. E., & Sanchez-Sotelo, J. (2020). Locking plate fixation of proximal humerus fractures in patients older than 60 years continues to be associated with a high complication rate. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 29(8), 1689–1694. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.11.026>
  19. Dolci, A., Melis, B., Verona, M., Capone, A., & Marongiu, G. (2021). Complications and Intraoperative Fractures in Reverse Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review. *Geriatric orthopaedic surgery & rehabilitation*, 12, 21514593211059865. <https://doi.org/10.1177/21514593211059865>
  20. Tagliero, L. E., Esper, R., Sperling, J. W., Morrey, M. E., Barlow, J. D., & Sanchez-Sotelo, J. (2024). Complications after reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus nonunion. *Journal of shoulder and elbow surgery*, S1058-2746(24)00466-X. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2024.05.020>
  21. Wendt, K. W., Jaeger, M., Verbruggen, J., Nijs, S., Oestern, H. J., Kdolsky, R., & Komadina, R. (2021). ESTES recommendations on proximal humerus fractures in the elderly. *European journal of trauma and emergency surgery: official publication of the European Trauma Society*, 47(2), 381–395. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01437-7>
  22. Klug, A., Wincheringer, D., Harth, J., Schmidt-Horlohé, K., Hoffmann, R., & Gramlich, Y. (2019). Complications after surgical treatment of proximal humerus fractures in the elderly-an analysis of complication patterns and risk factors for reverse shoulder arthroplasty and angular-stable plating. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 28(9), 1674–1684. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.02.017>
  23. Nabergoj, M., Denard, P. J., Collin, P., Trebše, R., & Lädermann, A. (2021). Mechanical complications and fractures after reverse shoulder arthroplasty related to different design types and their rates: part I. *European federation of national associations of orthopaedics and traumatology open reviews*, 6(11), 1097–1108. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.210039>

Стаття надійшла до редакції 10.01.2025	Отримано після рецензування 18.02.2025	Прийнято до друку 19.02.2025
---	---	---------------------------------

## ANALYSIS OF POSTOPERATIVE COMPLICATIONS IN THE SURGICAL TREATMENT OF PROXIMAL HUMERAL FRACTURES IN PATIENTS WITH DECREASED MINERAL BONE DENSITY

V. B. Makarov<sup>1,2</sup>, M. O. Korzh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> Municipal non-profit enterprise «City Clinical Hospital № 16» of the Dnipro City Council. Ukraine

✉ Vasyl Makarov: MD, DMSci, PhD in Orthopaedics and Traumatology: vasylmakarov2010@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0936-7039>

✉ Mykola Korzh: MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: mykola.korzh47@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0489-3104>

УДК 616.727.2-089.2:[612.13:[615.451.032:611.13/.14]](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025145-49>

## Вплив передопераційного волемічного навантаження на показники гемодинаміки під час артроскопії плечового суглоба

К. І. Лизогуб, М. В. Лизогуб

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

*Objective.* To investigate the influence of preoperative volemic loading on changes in hemodynamic parameters due to positioning of anesthetized patients in the beach chair position. *Methods.* A prospective randomized single-center study included 140 patients. Group I (n = 70) — patients who underwent preoperative loading in a volume of 12 ml/kg before changing the body position. Group II (n = 70) — patients who did not undergo preoperative loading. After induction with propofol/fentanyl in standard doses and orotracheal intubation, the patient was transferred from the supine position to the BCP. Non-invasive systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean arterial pressure (MAP), and heart rate were determined using a Mediana YM6000 monitor. The first measurement of SBP, DBP, and MAP was performed immediately after positioning the patient supine, the second after induction, the third 5 minutes after positioning in the NSP, and subsequently blood pressure measurements were performed every 5 minutes, heart rate, and SpO<sub>2</sub> continuously. In the postoperative period, the following criteria were evaluated: frequency of nausea/vomiting, frequency of orthostatic collapse within 48 hours, average heart rate within 6 hours. *Results.* Induction of general anesthesia caused comparable changes in hemodynamics in patients of the studied groups without significant differences between groups. When changing the body position in the BCP, hemodynamic changes had significant differences between groups. Only 7.1 % of the subjects in group I had nausea and vomiting in the early postoperative period, while in group II 21.4 % of patients had nausea and vomiting. The development of tachycardia was noted during the first 6 hours after surgery in patients in group II (95.0 ± 5.8), compared with group I (70.3 ± 6.5) (p < 0.001). The development of orthostatic collapse was observed more often in patients in group II and amounted to 14.3 % vs. 10.0 % of the subjects in group I. *Conclusions.* Preoperative infusion loading does not significantly affect hemodynamic reactions that occur during induction of general anesthesia in young patients ASA I-II. Preoperative infusion loading during operations in a BCP significantly reduces the number of early postoperative complications: postoperative nausea and vomiting, orthostatic collapse and the development of tachycardia. *Keywords.* Semi-sitting position, general anesthesia, infusion therapy, arthroscopy.

*Мета.* Дослідити вплив передопераційного волемічного навантаження на зміни показників гемодинаміки внаслідок позиювання анестезованих хворих у напівсидячому положенні (НСП). *Методи.* Проспективне рандомізоване одноцентрове дослідження включало 140 пацієнтів. Група I (n = 70) — хворі, яким проводилось передопераційне навантаження в обсязі 12 мл/кг перед зміненням положення тіла. Група II (n = 70) — особи, без передопераційного навантаження. Після проведення індукції пропофол/фентаніл у стандартних дозах та оротрахеальної інтубації пацієнт переводився з положення лежачи до НСП. Перше вимірювання систолічного артеріального тиску (СiАТ), діастолічного артеріального тиску (ДiАТ) та середнього артеріального тиску (САТ) виконувалось одразу після позиювання хворого лежачи на спині, друге — після індукції, третє — через 5 хв після позиювання в НСП та надалі вимірювання артеріального тиску здійснювали кожні 5 хв, частоту серцевих скорочень (ЧСС) та сатурацію периферичної крові (SpO<sub>2</sub>) постійно. У післяопераційному періоді оцінювали: частоту нудоти/блювання та розвитку ортостатичного колапсу протягом 48 год, середню ЧСС протягом 6 год. *Результати.* Індукція загальної анестезії викликала співставні зміни гемодинаміки в пацієнтів досліджуваних груп без достовірної різниці між групами. Артеріальний тиск також достовірно відрізнявся в пацієнтів I та II груп. У 7,1 % досліджених у I групі спостерігалось нудота та блювання в ранньому післяопераційному періоді проти II групи 21,4 % хворих. Розвиток тахікардії протягом перших 6 год після операції в пацієнтів II групи склав (95,0 ± 5,8), проти (70,3 ± 6,5) (p < 0,001), а ортостатичний колапс у II групі був 14,3 проти 10,0 %. *Висновки.* Передопераційне інфузійне навантаження дозволяє мінімізувати постуральні зміни гемодинаміки під час операцій в напівсидячому положенні. Воно достовірно не впливає на реакції гемодинаміки, які виникають під час індукції загальної анестезії в молодих пацієнтів. За умов операції в напівсидячому положенні достовірно зменшуються кількість ранніх післяопераційних ускладнень: нудота та блювання, ортостатичний колапс, розвиток тахікардії.

**Ключові слова.** Напівсидяче положення, загальна анестезія, інфузійна терапія, артроскопія



## Вступ

Варіація розміщення тіла пацієнта із лежачого до напівсидячого положення (НСП) ініціює фізіологічні зміни для адаптації серцево-судинної системи. Особливо, ця адаптація порушується під час загальної анестезії через вплив анестетиків на симпатичну активність і дизрегуляцію барорецепторної системи. Проте це пов'язане зі значною гемодинамічною нестабільністю, що зумовлює підвищений ризик церебральної гіперперфузії [1]. Церебральний перфузійний тиск знижується приблизно на 15 % у положенні сидячи в пацієнтів без анестезії та значно спадає під впливом анестезії через вазодилатацію та порушення венозного повернення, наслідками якого є нестабільність гемодинаміки, погіршення надходження кисню з можливою подальшою дисфункцією органів. І навпаки, перевантаження рідиною призводить до мультисистемних ефектів, включаючи інтерстиціальний набряк із впливом на газообмін, функцію нирок і шлунково-кишкову систему [2]. Отже, періопераційна гіпотензія не обов'язково вказує на дефіцит внутрішньосудинної рідини, але є ознакою спричиненою загальною анестезією — ослаблення тону судин [3]. Зниження серцевого індексу на 24 % під час переведення пацієнтів у НПС виникає за рахунок переміщення 14 % обсягу крові з інтра- в екстраторакальний простір [4]. У момент зміни положення тіла гемодинамічна проблема стає більшою через каудальне накопичення крові, та, у свою чергу, зменшення переднавантаження [5].

На сьогодні залишається невизначеним вплив інфузійного навантаження перед переведенням анестезованого пацієнта в НСП. Традиційно інфузійне переднавантаження використовувалось для профілактики інтраопераційної гіпотензії, спричиненої спінальною анестезією, та все ж і досі це питання залишається контроверсійним [6]. З'являються нові дані щодо позитивного впливу інфузійного переднавантаження на гемодинамічну стабільність пацієнтів у НСП [7], то ж ця проблема потребує подальшого дослідження.

*Мета:* дослідити вплив передопераційного волемічного навантаження на зміни показників гемодинаміки внаслідок позиціювання анестезованих хворих у напівсидячому положенні.

## Матеріал і методи

Роботу виконано в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Дослідження схвалене локальним комітетом з біоетики (протокол № 231 від 20.05.2023 р.)

відповідної установи залежно до правил ICH GCP, Гельсінської декларації прав людини від 2002 р., Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини затвердженої від 1977 р., а також чинного законодавства України. Від усіх пацієнтів, які увійшли в дослідження, отримано інформовану згоду. До проспективного рандомізованого дослідження було включено 140 пацієнтів, розподілені на 2 групи: I (n = 70) — особи, яким проводилось передопераційне навантаження в обсязі 12 мл/кг перед зміненням положення тіла; II (n = 70) — без передопераційного навантаження. Середній вік хворих у I групі складав ( $42,4 \pm 10,7$ ), у II групі — ( $41,1 \pm 13,3$ ) року. Із дослідження виключено пацієнтів із порушенням серцевого ритму, наявністю стенокардії, із дихальною, нирковою або печінковою недостатністю. За шкалою American Society of Anesthesiologists (ASA) усі досліджувані особи відносились до I та II класу. Хворим I групи проводилось об'ємне навантаження рідиною в обсязі 12 мл/кг за 30 хв до операції. Якісний склад інфузійної терапії складали збалансовані кристалоїдні розчини. Пацієнтам II групи до втручання не здійснювали попереднє волемічне навантаження. Перед індукцією хворим вводили пантопризол 40 мг, діазепам 10 мг. Індукція забезпечена за допомогою пропофолу 1 % 2 мг/кг, розчином фентанілу 0,2 мг, міорелаксація забезпечувалась розчином суксаметонію 1 мг/кг, та надалі атракурію бесилат 0,3 мг/кг. Підтримання загальної анестезії проводилось за допомогою пропофолу 1 % 5–7 мг/кг/год, для знеболення використовувався розчин фентанілу. Після виконання оротрахеальної інтубації та переведення хворого на штучну вентиляцію легень змінювали його положення на НСП.

Сатурацію периферичної крові ( $SpO_2$ ), неінвазивний систолічний артеріальний тиск (СиАТ), діастолічний артеріальний тиск (ДіАТ), середній артеріальний тиск (САТ), частоту серцевих скорочень (ЧСС) визначали монітором Mediana YM6000. Перше вимірювання  $SpO_2$ , СиАТ, ДіАТ проводилось одразу після позиціювання хворого лежачи на спині, друге — після індукції, третє — через 5 хв після позиціювання в НСП, надалі контроль артеріального тиску здійснювали кожні 5 хв, ЧСС та  $SpO_2$  постійно.

У післяопераційному періоді вивчали такі критерії: частоту нудоти/блювання та розвитку ортостатичного колапсу протягом 48 год, середню ЧСС протягом 6 год.

Групи були співставні за віком та тривалістю оперативного втручання. (табл. 1).



*Статистичний аналіз.* Отримані дані аналізували за допомогою комп'ютерної програми IBM SPSS 9.0. Нормальний розподіл вибірок перевіряли використовуючи тест Колмогорова-Смірнова. Розраховували середнє значення та стандартне відхилення. Відмінності між групами показників оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

## Результати

*Аналіз змін гемодинаміки залежно від передопераційного волемічного навантаження*

Первинні показники гемодинаміки статистично не відрізнялися між групами (табл. 2). Так само індукція загальної анестезії викликала співставні зміни гемодинаміки в пацієнтів досліджуваних груп без достовірної різниці між ними. У разі зміни положення тіла до НСП гемодинаміка мала достовірні відмінності між групами. Найсуттєвіші зафіксовано з боку ЧСС (уд/хв): (95,0 ± 5,8) у пацієнтів II групи порівняно із (70,34 ± 6,52) у I групі (p < 0,001). Артеріальний тиск також достовірно відрізнявся у хворих I та II груп (мм рт. ст.): СиАТ (103,9 ± 7,8) проти (95,9 ± 5,9) відповідно (p < 0,001); ДіАТ (63,3 ± 7,2) проти (57,5 ± 5,0) (p < 0,001) та САТ (76,8 ± 7,2) проти (69,6 ± 5,4) (p < 0,001). Ураховуючи, що підтримка САТ забезпечує ауторегуляцію мозкового кровообігу, у дослідженні не допускалось навіть короткочасного його зменшення до 65 мм рт. ст.

*Аналіз післяопераційних ускладнень*

Критеріями адекватності інтраопераційного волемічного статусу та стабільності гемодинаміки

можна вважати частоту післяопераційних ускладнень: тахікардія в післяопераційному періоді, блювання й ортостатичний колапс в перші 48 годин після втручання. Дані нашого спостереження показали, що пацієнти досліджуваних груп мали значну різницю за цими показниками. Так лише у 7,1 % випадків у I групі зафіксовано нудоту та блювання в ранньому післяопераційному періоді, тоді як в II групі — в 21,4 %. Розвиток тахікардії відзначався протягом перших 6 год після операції у пацієнтів II групи — (95,0 ± 5,8), у I — (70,3 ± 6,5) уд/хв (p < 0,001), а ортостатичного колапсу частіше спостерігався у хворих II групи та складав 14,3 проти 10,0 % досліджуваних у I групі (табл. 3).

## Обговорення

Значні зміни серцево-судинної системи можуть розвинути, коли пацієнтів переводять у вертикальне положення. Середній артеріальний тиск, центральний венозний тиск, парціальний тиск кисню в артеріальній крові (PaO<sub>2</sub>) знижуються, тоді як альвеолярно-артеріальний градієнт кисню (PAO<sub>2</sub>–PaO<sub>2</sub>), опір легневих судин і загальний периферичний опір зростають. За умов без анестезії ці ефекти компенсуються підвищенням системного судинного опору до 50–80 %. Проте ця вегетативна реакція блокується вазодилататорними ефектами анестетиків, які ще більше посилюють і погіршують серцевий викид. Артеріальний тиск залишається незмінним або підвищується у пацієнтів без знеболювання в положенні сидячи, але знижується в стані анестезії.

У положенні лежачи АТ, як вимірний на руці, так і той, що забезпечує перфузію мозку, по суті, однакові, але якщо хворий знаходиться у вертикальному положенні в кріслі, то він менший в мозку, ніж у серці чи руці. Різниця АТ буде дорівнювати градієнту гідростатичного тиску між серцем/рукою та мозком.

Таблиця 1

### Загальна характеристика обстежуваних пацієнтів

Група пацієнтів	Вік хворих, роки	Тривалість оперативного втручання, хв
I (n = 70)	42,4 ± 10,7	126,0 ± 25,4
II (n = 70)	41,1 ± 13,3	129,1 ± 25,2

Таблиця 2

### Зміни гемодинаміки на етапах дослідження у пацієнтів досліджуваних груп

Група пацієнтів	Показники гемодинаміки											
	первинний				після індукції				після позиціювання			
	СиАТ (мм рт.ст.)	ДіАТ (мм рт.ст.)	САТ (мм рт.ст.)	ЧСС (уд/хв)	СиАТ (мм рт.ст.)	ДіАТ (мм рт.ст.)	САТ (мм рт.ст.)	ЧСС (уд/хв)	СиАТ (мм рт.ст.)	ДіАТ (мм рт.ст.)	САТ (мм рт.ст.)	ЧСС (уд/хв)
I (n = 70)	141,5 ± 20,6	86,2 ± 12,6	104,7 ± 14,1	80,8 ± 11,5	104,6 ± 14,9	67,4 ± 7,9	79,8 ± 9,0	72,5 ± 10,5	103,9 ± 7,8	63,3 ± 7,2	76,8 ± 7,2	70,3 ± 6,5
II (n = 70)	145,5 ± 17,8	88,8 ± 14,8	104,0 ± 12,7	83,5 ± 9,4	104,0 ± 12,7	65,6 ± 9,2	78,4 ± 9,9	77,8 ± 10,4	95,9 ± 5,9 *	57,5 ± 5,0 *	69,6 ± 5,4 *	95,0 ± 5,8 *

Примітка. \* — p < 0,001, як порівняти групи I та II

Таблиця 3  
Наявність ускладнень  
у ранньому післяопераційному періоді

Група пацієнтів	Середня ЧСС у перші 6 год після операції, уд/хв	Нудота та блювання протягом 48 год, пацієнти	Ортостатичний колапс протягом 48 год, пацієнти
I (n = 70)	70,3 ± 6,5	5	7
II (n = 70)	95,0 ± 5,8 *	15	10

Примітка. \* —  $p < 0,001$ , як порівняти пацієнтів I та II груп

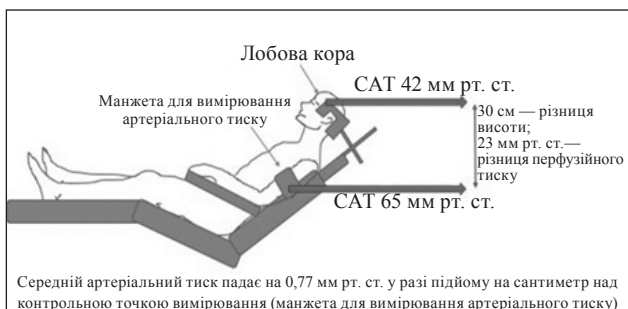


Рисунок. Порівняння САТ на рівні плеча та голови в разі зміни положення тіла в НСП (за Rodney A. Gabriel)

У дослідженні 23 073 пацієнтів виявлено — якщо САТ на руці дорівнює 65 мм рт. ст. і відстань до зовнішнього слухового проходу (що є основою мозку) на 30 см над серцем, то тиск на рівні кори головного мозку становить 42 мм рт. ст. (рисунок). Тобто, за зміни положення тіла в анестезованих осіб у НСП кожна вертикалізація на сантиметр призводить до зниження САТ на 0,77 мм рт. ст. [8]. А. Jesudoss зі співавт. порівнював САТ і швидкість кровотоку в середній мозковій артерії і виявили, що напівсидяче положення в умовах загальної анестезії призводить до зниження САТ у середньому на 24,8 % та швидкості кровотоку на середній мозковій артерії на 28,0 % [9]. Lee і співавт. зазначили, що постуральні гемодинамічні реакції під час переведення в НСП спостерігалися в пацієнтів із підвищеним базовим рівнем артеріального тиску [10].

Сучасні керівництва рекомендують підтримувати САТ на рівні не менше 70 мм рт. ст. [11]. Питання щодо корекції гемодинаміки в НСП залишається контроверсійним. У своїх дослідженнях Soo Y Cho і співавт. виявили, що застосування розчину вазопресину перед переведенням хворого в НСП сприяє зменшенню епізодів гіпотензії, асоційованих із вертикалізацією [12], але корекція низьких інтраопераційних значень САТ за допомогою самих судинозвужувальних препаратів не гарантує хорошої перфузії органів. Gokduman

і співавт. перед позиціонуванням проводили навантаження рідиною (кристалоїдні та колоїдні розчини) в обсязі 10 мл/кг ідеальної маси тіла за 30 хв до оперативного втручання, що сприяло зменшенню частоти епізодів післяопераційної нудоти та блювання [7]. Отримані авторами результати дослідження співставні з нашими даними. Іншими методами попередження церебральної гіперперфузії в НСП є перешкоджання розвитку гіпервентиляції та використання високих компресійних панчох [11]. Збереження нормоволемії може бути більш корисним, ніж застосування вазоконстрикції для підвищення САТ задля збереження церебральної перфузії; отже, збільшення внутрішньосудинного об'єму може бути більш ефективним для захисту пацієнтів від можливої гіперперфузії [13].

## Висновки

Передопераційне інфузійне навантаження в обсязі 12 мл/кг дозволяє мінімізувати постуральні зміни гемодинаміки під час операцій у напівсидячому положенні.

Отже воно достовірно не впливає на реакції гемодинаміки, які виникають під час індукції загальної анестезії в пацієнтів молодого віку ASA I–II.

Передопераційне інфузійне навантаження під час втручання у напівсидячому положенні достовірно зменшує кількість ранніх післяопераційних ускладнень: нудота та блювання, ортостатичний колапс і розвиток тахікардії.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Актуальним є дослідження, присвячені змінам гемодинаміки та церебральній перфузії у періопераційному періоді при зміні положення тіла у анестезованих пацієнтів.

**Інформація про фінансування.** Жодної вигоди у будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

**Внесок авторів.** Лизогуб К. І. — концепція і дизайн, аналіз отриманих даних; Лизогуб М. В. — аналіз отриманих даних, редагування тексту, обробка матеріалів.

## Список літератури

- Meta, F., Ulrich, M. N., Simon, K. N., Tagliero, A. J., & Camp, C. L. (2024). Basics of Shoulder Arthroscopy Part I: Beach-Chair Patient Positioning and Operating Room Setup. *Arthroscopy techniques*, 13(10), 103082. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2024.103082>.
- Hansen B. (2021). Fluid Overload. *Frontiers in veterinary science*, 8, 668688. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.668688>
- Kappen, T., & Beattie, W. S. (2021). Perioperative hypotension 2021: a contrarian view. *British journal of anaesthesia*, 127(2), 167–170. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.03.015>
- Buhre, W., Weyland, A., Buhre, K., Kazmaier, S., Mursch, K.,

- Schmidt, M., Sydow, M., & Sonntag, H. (2000). Effects of the sitting position on the distribution of blood volume in patients undergoing neurosurgical procedures. *British journal of anaesthesia*, 84(3), 354–357. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bja.a013439>
5. Larsen, S. L., Lyngeraa, T. S., Maschmann, C. P., Van Lieshout, J. J., & Pott, F. C. (2014). Cardiovascular consequence of reclining vs. sitting beach-chair body position for induction of anesthesia. *Frontiers in physiology*, 5, 187. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00187>
  6. Decuyper, N., & Van De Velde, M. (2023) Fluid co-loading or preloading for the prevention of hypotension during spinal anesthesia for C-section: a narrative review. *Acta anaesthesiologica Belgica*, 74(2), 113–121. <https://doi.org/10.56126/74.1.09>
  7. Gokduman, H. C., Aygun, E., Canbolat, N., Canbaz, M., Abdullah, T., Ersen, A., & Buget, M. I. (2022). Fluid preloading before beach chair positioning for arthroscopic shoulder procedures: a randomized controlled trial. *Brazilian journal of anesthesiology (Elsevier)*, 72(6), 702–710. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2021.08.007>
  8. Gabriel, R. A., Beverly, A., Dutton, R. P., & Urman, R. D. (2017). Patterns of intra-arterial blood pressure monitoring for patients undergoing total shoulder arthroplasty under general anesthesia: a retrospective analysis of 23,073 patients. *Journal of clinical monitoring and computing*, 31(5), 877–884. <https://doi.org/10.1007/s10877-016-9939-0>
  9. Jesudoss, A., Georgene, S., Bijesh, Ya., Melvin, A. A., & Sajan, P. G. (2021). Effect of Beach-Chair Position on Cerebral Blood Flow in Patients Undergoing Shoulder Surgery — A Preliminary Observational Study. *Journal of neuroanaesthesiology and critical care*, 1, 016–020. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1732830>
  10. Lee, S., Seo, J., Kim, D. Y., Lee, Y., Kang, H. Y., Choi, J. H., Kim, Y., Kim, M. K., & You, A. H. (2024). Comparison of Hemodynamic Parameters Based on the Administration of Remimazolam or Sevoflurane in Patients under General Anesthesia in the Beach Chair Position: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *Journal of clinical medicine*, 13(8), 2364. <https://doi.org/10.3390/jcm13082364>
  11. Ensor, D., Gwilym, S. E., Imam, M., West, S., Elgebaly, A., & Baring, T. (2024). Should the beach chair position have national guidelines to reduce the risk of cerebrovascular complications? Results from a National Survey of Surgeons and Anaesthetists. *Shoulder & elbow*, 17585732241269147. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/17585732241269147>
  12. Cho, S. Y., Kim, S. J., Jeong, C. W., Jeong, C. Y., Chung, S. S., Lee, J., & Yoo, K. Y. (2013). Under general anesthesia arginine vasopressin prevents hypotension but impairs cerebral oxygenation during arthroscopic shoulder surgery in the beach chair position. *Anesthesia and analgesia*, 117(6), 1436–1443. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182a8fa97>
  13. Frey, K., Rehm, M., Chappell, D., Eisenlohr, J., Crispin, A., Saller, T., Groene, P., Ockert, B., & Hofmann-Kiefer, K. F. (2018). Preemptive volume therapy to prevent hemodynamic changes caused by the beach chair position: hydroxyethyl starch 130/0.4 versus Ringer's acetate—a controlled randomized trial. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 27(12), 2129–2138. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.08.003>

Стаття надійшла до редакції 26.01.2025	Отримано після рецензування 26.02.2025	Прийнято до друку 28.02.2025
---	---	---------------------------------

## THE IMPACT OF PREOPERATIVE VOLUME OVERLOAD ON HEMODYNAMIC PARAMETERS DURING SHOULDER ARTHROSCOPY

K. I. Lyzogub, M. V. Lyzogub

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

✉ Kseniia Lyzogub, MD, PhD: [kslizogub@gmail.com](mailto:kslizogub@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9149-7208>

✉ Mykola Lyzogub, MD, DMSci: [nlizogub@gmail.com](mailto:nlizogub@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4776-1635>

УДК 616.728.2-089.843-07:616-07/-08(083.744)Forgotten\_Joint\_Score\_12](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025150-55>

## Україномовні валідовані шкали Forgotten Joint Score-12 для пацієнтів після ендопротезування кульшового та колінного суглобів

С. Є. Бондаренко <sup>1</sup>, В. А. Філіпенко <sup>1</sup>, В. Є. Мальцева <sup>1</sup>,  
Д. В. Приймак <sup>2</sup>, Д. І. Середа <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

<sup>2</sup> Харківський національний медичний університет МОЗ України

<sup>3</sup> Комунальне некомерційне підприємство «Міська клінічна лікарня № 11», Одеса. Україна

*The Forgotten Joint Score-12 (FJS-12) is an important tool for assessing the effectiveness of treatment of patients after large joint arthroplasty. Its main advantage is its sensitivity to the patient's subjective perception of the artificial joint, which makes it extremely useful for assessing the level of comfort after surgery. Objective. To perform an official translation of the Forgotten Joint Score-12 scale into Ukrainian, to conduct its adaptation and validation among patients who have undergone knee or hip arthroplasty. The translation was carried out within the framework of official cooperation with Forgotten Joint Scores (BGGK GmbH, Switzerland) in accordance with international standards Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures. Results. The pilot testing was conducted among 20 patients and was aimed at identifying the clarity of the questions, ease of completion and time required to complete the survey. That is why this scale allows to assess the degree of awareness of the presence of a joint implant in everyday life, is an important addition to existing methods of studying the results of treatment. Conclusions. Due to its unique approach, the FJS-12 allows for a more accurate assessment of the results of arthroplasty, which contributes to the improvement of surgical techniques, optimisation of rehabilitation programmes and improvement of the level of medical care. Its Ukrainian-language version is now available for use in clinical practice and scientific research in our country, which will contribute to a more objective assessment of the effectiveness of treatment of patients after total arthroplasty. This also opens up new opportunities for international cooperation, as it allows Ukrainian researchers to use unified assessment methods and compare their results with those of their colleagues. Keywords. Total hip arthroplasty, total knee arthroplasty, Forgotten Joint Score-12, FJS-12.*

*Шкала Forgotten Joint Score-12 (FJS-12) є важливим інструментом для оцінки ефективності лікування пацієнтів після ендопротезування великих суглобів. Її головна перевага полягає в чутливості до суб'єктивного сприйняття штучного суглоба самим пацієнтом, що робить її надзвичайно корисною для оцінювання рівня комфорту після операції. Мета. Виконати офіційний переклад шкали Forgotten Joint Score-12 на українську мову, провести її адаптацію та валідацію серед пацієнтів, яким виконали ендопротезування колінного або кульшового суглобів. Переклад здійснювався в межах офіційного співробітництва з Forgotten Joint Scores (BGGK GmbH, Switzerland) відповідно до міжнародних стандартів Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures. Результати. Пілотне тестування проводилося серед 20 пацієнтів, було спрямоване на виявлення зрозумілості запитань, зручності заповнення та часу, необхідного для проходження опитування. Саме тому ця шкала дозволяє оцінити ступінь усвідомлення наявності суглобового імплантата в повсякденному житті, є важливим доповненням до існуючих методів вивчення результатів лікування. Висновки. Завдяки своєму унікальному підходу FJS-12 дозволяє проводити більш точну оцінку результатів ендопротезування, що сприяє вдосконаленню хірургічних методик, оптимізації програм реабілітації та підвищенню рівня медичної допомоги. Її україномовна версія наразі доступна для використання в клінічній практиці та наукових дослідженнях нашої країни, що сприятиме більшій об'єктивності оцінки ефективності лікування пацієнтів після тотального ендопротезування. Це також відкриває нові можливості для міжнародного співробітництва, оскільки дозволяє українським дослідникам використовувати уніфіковані методики оцінювання та порівнювати свої результати з даними колег.*

**Ключові слова.** Тотальне ендопротезування кульшового суглоба, тотальне ендопротезування колінного суглоба, Forgotten Joint Score-12, FJS-12



## Вступ

Тотальне ендопротезування колінного та кульшового суглобів є ефективною методикою лікування пацієнтів із тяжким остеоартритом або іншими дегенеративними захворюваннями суглобів. Цей спосіб хірургічного втручання дозволяє значно покращити якість життя пацієнтів, зменшити біль і відновити функціональність суглобів. Оцінка результатів ендопротезування за допомогою традиційних шкал, таких як Harris Hip Score (HHS) [1], Knee Society Score (KSS) [2] і Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) [3] зосереджена переважно на об'єктивних параметрах: біль, фізична функція, діапазон рухів і ризик ускладнень. Водночас у шкалах HHS і KSS клінічну оцінку виконує лише лікар, а у WOMAC [3] та Oxford Hip and Knee Scores (OHS/OKS) [4, 5] ураховані також суб'єктивні відчуття пацієнтів. Проте саме людина є у центрі уваги сучасної медицини, у межах якої важливим показником для визначення ефективності лікування вважається якість життя та суб'єктивне сприйняття результатів лікування пацієнтом. У цьому контексті шкала Forgotten Joint Score-12 (FJS-12) [6] є ключовим інструментом для оцінки здатності пацієнта забути про штучний суглоб у повсякденному житті. Концепція «забутого суглоба» передбачає, що чим непомітнішим стає суглоб для пацієнта, тим успішнішим було оперативне лікування [7]. FJS-12 дозволяє оцінити не лише фізичну функціональність, але й психологічний комфорт пацієнта, що робить її надзвичайно чутливим індикатором успішності лікування [8]. Цю шкалу розробив у 2007 році проф. Маркус С. Кусте, ортопед-хірург із ендопротезування суглобів. Уперше результати її валідації опублікували в 2012 році у «The Journal of arthroplasty» [7].

Шкала Forgotten Joint Score-12 (FJS-12) перевірена на надійність і валідність серед пацієнтів після ендопротезування колінного [9–12] або кульшового [11–13] суглобів. За рахунок високої чутливості до оцінки суб'єктивного комфорту осіб після ендопротезування суглобів у цій шкалі мінімальний ефект «стелі», на відміну від інших, у яких свій стан оцінюють пацієнти (patient-reported outcome measures або PROMs) [14]. Ефект «стелі» означає досягнення межі після якої за допомогою шкали неможливо визначити покращення стану пацієнта після лікування. Це важливо для визначення невеликих функціональних змін, особливо серед осіб із високим рівнем активності.

FJS-12 уже перекладена на кілька мов із багатобічними результатами щодо валідності та надійності для пацієнтів після ендопротезування колінного [15–19] та кульшового [20, 21] суглобів, проте перекладу на українську мову досі не проведено. Це обмежує можливості покращення лікування через брак зворотного зв'язку від пацієнта щодо його відчуття штучного суглоба та відсутності цієї оцінки в інших вживаних шкалах.

*Мета:* виконати переклад на українську мову шкали Forgotten Joint Score-12 та провести її валідацію для пацієнтів, яким здійснили ендопротезування колінного або кульшового суглобів.

## Матеріал і методи

Дослідження схвалене комісією з біоетики ДУ «ІПХС ім. проф. М. І Ситенка НАМН України» (протокол № 248 від 10.02.2025 р). Усі пацієнти підписали інформовану згоду.

Робота виконувалась у межах офіційного договору з Forgotten Joint Scores (BGGK GmbH, Switzerland) про співпрацю [9], представником якого була головна спеціалістка з питань перекладу та ліцензування Дагмара Куліс. Під час співробітництва ми переклали українською та провели лінгвістичну валідацію англійської версії шкали FJS-12 для подальшого використання в практиці українських лікарів. Це було виконано в наступній послідовності, відповідно до вимог Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures [22]:

- подвійний переклад: опитувальник перекладено українською мовою двома незалежними експертами;
- реконсиляція: обидва переклади об'єднані в один оптимальний варіант;
- зворотний переклад: створено два незалежні зворотні переклади українського варіанта на англійську мову;
- перевірка: команда перекладачів і клініцистів перевірила текст на відповідність оригіналу;
- експертна коректура: текст вчитаний професійним лінгвістом;
- пілотне тестування: проведено тестування за участю 20 пацієнтів після ендопротезування кульшового (n = 10) та колінного (n = 10) суглобів;
- фіналізація: внесені всі необхідні корективи на основі результатів тестування.

## Результати

Підсумком спільної праці є україномовні валідовані шкали Forgotten Joint Score-12 для пацієнтів після ендопротезування колінного або кульшового суглобів, наведені на рис. 1 та 2.

### Запитання для оцінювання стану колінного суглоба (Forgotten Joint Score-12)

Пацієнт: \_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Суглоб можна вважати здоровим лише в тому випадку, коли Ви не зважаєте на нього протягом дня. Проте навіть найменша проблема може привернути Вашу увагу до суглоба. Ви починаєте думати про нього, уважно ставитися до своїх відчуттів. Наступні запитання стосуються того, **як часто Ви зважаєте на свій уражений колінний суглоб у повсякденному житті**. Будь ласка, виберіть відповідь, яка найбільше відповідає Вашим відчуттям.

№ з/п	Ви звертаєте увагу на свій колінний суглоб...	Ніколи	Майже ніколи	Рідко	Іноді	Майже завжди
1.	... вночі, коли перебуваєте у ліжку?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	... коли Ви сидите на стільці впродовж години або довше?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	... коли Ви йдете пішки довше ніж 15 хвилин?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	... коли Ви приймаєте ванну/душ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	... коли Ви керуєте/подорожуєте машиною як пасажир	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	... коли Ви піднімаєтесь сходами?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	... коли Ви йдете по нерівній поверхні?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.	... коли Ви піднімаєтесь після сидіння на низькій поверхні?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.	... коли Ви стоїте тривалий час?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.	... коли Ви займаєтеся хатніми справами чи садівництвом?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.	... коли Ви йдете на прогулянку / у піший похід?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.	... коли Ви займаєтеся улюбленим видом спорту?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Рис. 1. Шкала Forgotten Joint Score -12 для колінного суглоба

Під час проведення пілотного тестування мета опитування та значення всіх запитань були добре зрозумілі всім пацієнтам без винятку.

#### Алгоритм підрахунку балів

Кожне з 12 запитань у шкалі оцінюється від 0 до 4 балів, де відповідь пацієнта «Ніколи» дорівнює 0, а «Майже завжди» — 4 балам. Таким чином, загальний отриманий бал коливається від 0 до 48 [7]. Отриманий бал лінійно трансформується в шкалу від 0 до 100 за формулою:

$$\text{Підсумковий бал} = 100 - ((\text{сума всіх балів} / \text{кількість запитань із відповіддю}) \times 25). \quad (1)$$

Наприклад, якщо на всі 12 запитань відповідь пацієнта була «Іноді» (3 бали), то підсумковий бал дорівнює 25.

$$\text{Підсумковий бал} = 100 - ((36 / 12) \times 25) = 25. \quad (2)$$

Отриманий високий бал за шкалою FJS-12 свідчить про гарний результат після лікування.

Якщо пацієнт не дав відповідь на більше ніж на 4 запитання, загальний бал не використовують.

**Шкала FJS-12 для кульшового суглоба** (рис. 1) спрямована на оцінку рівня залученості оперованої кінцівки у звичне життя пацієнта після тотального ендопротезування. Основна увага приділяється таким аспектам, як відчуття дискомфорту в суглобі під час сидіння, ходьби, підйому

сходами, керування автомобілем, довгого стояння або виконання фізичних вправ.

Відповіді пацієнта оцінюються за шкалою від «Ніколи» до «Майже завжди», що дозволяє виміряти рівень обізнаності про суглоб у різних повсякденних ситуаціях. Загальний результат перераховується в шкалу від 0 до 100 балів, де 0 вказує на максимальну обізнаність (незручність, обмеження в рухах), а 100 означає повну «забутість» про суглоб. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише фізичну функцію, але й психологічний комфорт пацієнта, зокрема його здатність повернутися до активного способу життя.

**Шкала FJS-12 для колінного суглоба** (рис. 2) орієнтована на оцінку функціональності та відчуття суглоба в пацієнтів після ендопротезування. Вона охоплює такі аспекти, як здатність підніматися та спускатися сходами, ходити нерівною поверхнею, виконувати хатні справи, займатися спортом або стояти протягом тривалого часу.

Кожна відповідь оцінюється так само як і у шкалі для кульшового суглоба. Завдяки високій чутливості шкали можна точно виявити рівень відновлення пацієнта, диференціюючи навіть найменші зміни в стані суглоба. FJS-12 для колінного суглоба є надзвичайно корисною для осіб, які прагнуть відновити фізичну активність, включно зі спортивними навантаженнями.

### Запитання для оцінювання стану кульшового суглоба (Forgotten Joint Score-12)

Пацієнт: \_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Суглоб можна вважати здоровим лише в тому випадку, коли Ви не зважаєте на нього протягом дня. Проте навіть найменша проблема може повернути Вашу увагу до суглоба. Ви починаєте думати про нього, уважно ставитися до своїх відчуттів. Наступні запитання стосуються того, **як часто Ви зважаєте на свій уражений кульшовий суглоб у повсякденному житті**. Будь ласка, виберіть відповідь, яка найбільше відповідає Вашим відчуттям.

№ з/п	Ви звертаєте увагу на свій кульшовий суглоб...	Ніколи	Майже ніколи	Рідко	Іноді	Майже завжди
1.	... вночі, коли перебуваєте у ліжку?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	... коли Ви сидите на стільці впродовж години або довше?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	... коли Ви йдете пішки довше ніж 15 хвилин?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	... коли Ви приймаєте ванну/душ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	... коли Ви керуєте/подорожуєте машиною як пасажир	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	... коли Ви піднімаєтеся сходами?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	... коли Ви йдете по нерівній поверхні?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.	... коли Ви піднімаєтесь після сидіння на низькій поверхні?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.	... коли Ви стоїте тривалий час?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.	... коли Ви займаєтеся хатніми справами чи садівництвом?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.	... коли Ви йдете на прогулянку / у піший похід?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.	... коли Ви займаєтеся улюбленим видом спорту?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Рис. 2. Шкала Forgotten Joint Score -12 для кульшового суглоба

### Обговорення

Шкалу FJS-12 можливо використовувати для оцінювання результатів клінічних досліджень, спрямованих на покращення якості життя пацієнтів після ендопротезування суглобів. Ефективність і користь від застосування шкали FJS-12 ґрунтується не лише на суб'єктивному досвіді ортопедів-хірургів, але й має практичне застосування в клінічних дослідженнях. Behrend зі співавт. [7], використовуючи шкалу FJS-12 показали вплив року виробництва ендопротезів кульшового суглоба на результат лікування пацієнтів, що свідчить про можливість застосування FJS-12 для досліджень різних варіантів протезів. Завдячуючи цій шкалі можуть оцінити результати у дослідженнях з різною тривалістю. Так за допомогою FJS-12, J. Managa зі співавт. [23] виявили переваги використання роботизованої системи під час часткового ендопротезування колінного суглоба за 2 роки спостереження. Опублікований досвід використання FJS-12 і для триваліших спостережень, а саме у пацієнтів після тотального ендопротезування кульшового суглоба через асептичний некроз головки стегнової кістки результати оцінювали впродовж 10 років [24].

Внутрішня узгодженість FJS-12 за методом альфа Кронбаха є високою [14] і дорівнює 0,95 у першій публікації [7], для колінного суглоба від 0,97 до 0,86 [11, 15, 25], що демонструє її на-

дійність як інструмента для самозвітування пацієнтів. Конструктивна валідність FJS-12 підтверджена наявністю сильної кореляції з WOMAC ( $r = -0,75$ ) [7], та з OHS/OKS ( $r = 0,79$  та  $r = 0,75$  відповідно) [11]. Більш того, шкала FJS-12 має високу чутливість до виявлення мінімальних змін стану пацієнтів після ендопротезування [15].

Перевагою FJS-12 є врахування суб'єктивного комфорту пацієнта в повсякденному житті та більша чутливість до незначних змін і проблем, що усуває обмеження щодо її використання для оцінювання довгострокових результатів ендопротезування, особливо в осіб із високим рівнем функціональності, що неможливо у випадку застосування традиційних шкал [14].

### Висновки

Шкала Forgotten Joint Score-12 є надійним і чутливим інструментом для оцінки результатів ендопротезування кульшового та колінного суглобів. Вона дозволяє отримати точні дані про суб'єктивне сприйняття пацієнтів свого стану, сприяє покращенню хірургічних методик і допомагає визначити оптимальні підходи до лікування пацієнтів, яким показано виконання ендопротезування колінного або кульшового суглобів. Перекладені нами українською шкали Forgotten Joint Score-12 для колінного та кульшового суглобів є абсолютно коректні та валідовані, що надає



гарантовану можливість для україномовних спеціалістів правильно використовувати їх у своїй щоденній практиці.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Проведення клінічних досліджень із використанням FJS-12 для оцінювання результатів лікування захворювань кульшового/колінного суглобів в Україні.

**Інформація про фінансування.** Відсутнє.

**Внесок авторів.** Бондаренко С. Є. — розробка концепції дослідження, опитування пацієнтів, участь у зборі даних, аналіз результатів; Філіпенко В. А. — розробка концепції дослідження; Мальцева В. Є. — аналіз результатів; Серєда Д. І. — опитування пацієнтів, участь у зборі даних; Приймак Д. В. — опитування пацієнтів, участь у зборі даних. Усі автори брали участь у написанні статті та схвалили остаточний рукопис.

## Список літератури

- Harris hip score. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 20(Supplement), S78–S79. doi:10.1097/00005131-200609001-00012
- The Knee Society Score*. (n.d.-b). Retrieved January 28, 2025, from <https://www.kneesociety.org/the-knee-society-score>.
- WOMAC. (2017). *The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC)*. <https://www.princetonhcs.org/-/media/files/forms/princeton-rehabilitation/womac.pdf>
- University of Oxford. (2016). *The Oxford knee score*. <https://innovation.ox.ac.uk/outcome-measures/oxford-knee-score-oks/>
- University of Oxford. (2016). *The Oxford hip score*. <https://innovation.ox.ac.uk/outcome-measures/Oxford-Hip-Score-Ohs/>
- The Forgotten Joint Score. (2014). *The forgotten joint score*. <http://Www.Forgotten-Joint-Score.Info>. <http://www.forgotten-joint-score.info/>
- Behrend, H., Giesinger, K., Giesinger, J. M., & Kuster, M. S. (2012). The “Forgotten joint” as the ultimate goal in joint arthroplasty. *The journal of arthroplasty*, 27(3), 430–436.e1. doi:10.1016/j.arth.2011.06.035
- Rolfson, O., Bohm, E., Franklin, P., Lyman, S., Denissen, G., Dawson, J., Dunn, J., Eresian Chenok, K., Dunbar, M., Overgaard, S., Garellick, G., & L ubbeke, A. (2016). Patient-reported outcome measures in arthroplasty registries: Report of the Patient-Reported Outcome Measures Working Group of the International Society of Arthroplasty Registries Part II. Recommendations for selection, administration, and analysis. *Acta orthopaedica*, 87(Suppl 1), 9–23. <https://doi.org/10.1080/017453674.2016.1181816>
- Lenner as, M., Tsikandylakis, G., Trobos, M., Omar, O., Vazirani, F., Palmquist, A., Berlin,  ., Br anemark, R., & Thomsen, P. (2017). The clinical, radiological, microbiological, and molecular profile of the skin-penetration site of transfemoral amputees treated with bone-anchored prostheses. *Journal of biomedical materials research - Part A*, 105(2), 578–589. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35935>
- Thompson, S. M., Salmon, L. J., Webb, J. M., Pinczewski, L. A., & Roe, J. P. (2015). Construct Validity and Test Re-Test Reliability of the Forgotten Joint Score. *Journal of arthroplasty*, 30(11), 1902–1905. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.05.001>
- Hamilton, D. F., Loth, F. L., Giesinger, J. M., Giesinger, K., MacDonald, D. J., Patton, J. T., Simpson, A. H. R. W., & Howie, C. R. (2017). Validation of the English language Forgotten Joint Score-12 as an outcome measure for total hip and knee arthroplasty in a British population. *Bone and joint journal*, 99-B(2), 218–224. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B2.BJJ-2016-0606.R1>
- Robinson, P. G., Rankin, C. S., Lavery, J., Anthony, I., Blyth, M., & Jones, B. (2018). The validity and reliability of the modified forgotten joint score. *Journal of orthopaedics*, 15(2), 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.03.029>
- Matsumoto, M., Baba, T., Homma, Y., Kobayashi, H., Ochi, H., Yuasa, T., Behrend, H., & Kaneko, K. (2015). Validation study of the Forgotten Joint Score-12 as a universal patient-reported outcome measure. *European journal of orthopaedic surgery and traumatology*, 25(7), 1141–1145. <https://doi.org/10.1007/s00590-015-1660-z>
- Adriani, M., Malahias, M. A., Gu, A., Kahlenberg, C. A., Ast, M. P., & Sculco, P. K. (2020). Determining the Validity, Reliability, and Utility of the Forgotten Joint Score: A Systematic Review. *Journal of arthroplasty*, 35(4), 1137–1144. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.10.058>
- Baumann, F., Ernstberger, T., Loibl, M., Zeman, F., Nerlich, M., & Tibesku, C. (2016). Validation of the German Forgotten Joint Score (G-FJS) according to the COSMIN checklist: does a reduction in joint awareness indicate clinical improvement after arthroplasty of the knee? *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 136(2), 257–264. <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2372-x>
- Lee, J., Lim, S. H., Ro, D. H., Lee, M. C., & Han, H. S. (2021). Translation and Validation of the Korean Version of the Forgotten Joint Score. *CiOs clinics in orthopedic surgery*, 13(4), 482–490. <https://doi.org/10.4055/cios20213>
- Sansone, V., Fennema, P., Applefield, R. C., Marchina, S., Ronco, R., Pascale, W., & Pascale, V. (2020). Translation, cross-cultural adaptation, and validation of the Italian language Forgotten Joint Score-12 (FJS-12) as an outcome measure for total knee arthroplasty in an Italian population. *BMC musculoskeletal disorders*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2985-2>
- Heijbel, S., Naili, J. E., Hedin, A., W-Dahl, A., Nilsson, K. G., & Hedstr om, M. (2020). The Forgotten Joint Score-12 in Swedish patients undergoing knee arthroplasty: a validation study with the Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) as comparator. *Acta orthopaedica*, 91(1), 88–93. <https://doi.org/10.1080/17453674.2019.1689327>
- Cao, S., Liu, N., Han, W., Zi, Y., Peng, F., Li, L., Fu, Q., Chen, Y., Zheng, W., & Qian, Q. (2017). Simplified Chinese version of the Forgotten Joint Score (FJS) for patients who underwent joint arthroplasty: Cross-cultural adaptation and validation. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0508-5>
- Sethy, S. S., Goyal, T., Paul, S., Das, S. L., Choudhury, A. K., & Kalia, R. B. (2020). Translation and Validation of Forgotten Joint Score for Total Hip Arthroplasty for Indian Population. *Indian journal of orthopaedics*, 54(6), 892–900. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00228-x>
- Klouche, S., Giesinger, J. M., & Sariali, E. H. (2018). Translation, cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Forgotten Joint Score in total hip arthroplasty. *Orthopaedics and traumatology: surgery and research*, 104(5), 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.04.010>
- Wild, D., Grove, A., Martin, M., Eremenco, S., McElroy, S., Verjee-Lorenz, A., & Erikson, P. (2005). Principles of good practice for the translation and cultural adaptation process for patient-reported outcomes (PRO) measures: Report of the ISPOR Task Force for Translation and Cultural Adaptation. *Value in health*, 8(2), 94–104. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2005.04054.x>
- Manara, J. R., Nixon, M., Tippett, B., Pretty, W., Collopy, D., & Clark, G. W. (2024). A case-matched series comparing functional outcomes for robotic-assisted unicompartmental knee arthroplasty versus functionally aligned



- robotic-assisted total knee arthroplasty. *Bone and joint open*, 5(12), 1123–1129. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.512.BJO-2024-0086.R2>
24. Suksathien, Y., Suarjui, J., Tippimanchai, T., Suksathien, R., Lajuntuk, B., & Khamphaeng, S. (2024). Long-term results of short stem total hip arthroplasty in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 145(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05680-0>
25. Thomsen, M. G., Latifi, R., Kallemose, T., Barfod, K. W., Husted, H., & Troelsen, A. (2016). Good validity and reliability of the forgotten joint score in evaluating the outcome of total knee arthroplasty: A retrospective cross-sectional survey-based study. *Acta orthopaedica*, 87(3), 280–285. <https://doi.org/10.3109/17453674.2016.1156934>

Стаття надійшла до редакції 12.01.2025	Отримано після рецензування 26.02.2025	Прийнято до друку 27.02.2025
---	---	---------------------------------

## UKRAINIAN-LANGUAGE VALIDATED SCALES FORGOTTEN JOINT SCORE-12 FOR PATIENTS AFTER HIP AND KNEE ARTHROPLASTY

S. Ye. Bondarenko <sup>1</sup>, V. A. Filipenko <sup>1</sup>, V. Ye. Maltseva <sup>1</sup>, D. V. Pryimak <sup>2</sup>, D. I. Sereda <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> National Medical University, Kharkiv. Ukraine

<sup>3</sup> Municipal Non-Commercial Enterprise «City Clinical Hospital №11», Odesa. Ukraine

✉ Stanislav Bondarenko, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: [bondarenke@gmail.com](mailto:bondarenke@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2463-5919>

✉ Volodymyr Filipenko, MD, Prof. in Orthopaedics and Traumatology: [filipenko1957@gmail.com](mailto:filipenko1957@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5698-2726>

✉ Valentyna Maltseva, Phd in Biol. Sci.: [maltseva.val.evg@gmail.com](mailto:maltseva.val.evg@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-9184-0536>

✉ Daryna Pryimak: [darinapryimak1@gmail.com](mailto:darinapryimak1@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0000-2219-1328>

✉ Dmytro Sereda, MD: [ortsurgeon@gmail.com](mailto:ortsurgeon@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0009-2069-3872>

УДК 617.3-089.816:[611.018.1"712.4":611.013.395](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025156-64>

## Критерії якості біотехнологічних продуктів на основі аутологічного аспірата кісткового мозку для застосування в травматології та ортопедії

С. С. Страфун<sup>1</sup>, Є. Л. Голюк<sup>1</sup>, Д. О. Зубов<sup>1</sup>,  
О. М. Магомедов<sup>1</sup>, Г. С. Стародуб<sup>2</sup>, Х. К. Малова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

<sup>2</sup> ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», Київ

<sup>3</sup> Міська клінічна лікарня № 9, Київ, Україна

*Autologous biotechnological products based on bone marrow (BM) are a source of stem cells, in particular, hematopoietic and multipotent mesenchymal stromal cells, and act as one of the alternative therapeutic agents that can slow cartilage degeneration, improve its repair and, ultimately, prevent joint replacement. Objective. To develop quality and safety criteria of minimally manipulated biotechnological products from autologous bone marrow for use in patients with pathology of the musculoskeletal system. Methods. The material for the development of quality and safety criteria for the manufacture and use of biotechnological products from autologous red bone marrow aspirate was 85 patients with osteoarthritis and aseptic necrosis of the hip and knee joints, who used biotechnological products made from it. Cell counts in the myelogram and CFU-analysis of MMSK-BM were performed in all patients. Results. As a result of the development of quality and safety criteria for biotechnological products from BM aspirate, 3 types of it were established: 1 — polymorphic (with the presence of progenitor cells of all types within the normal range), 2 — moderately cellular (with the presence of all types of progenitor cells, but some of them below the norm), 3 — hypocellular (with the presence of most types of progenitor cells, some of them below the norm). Functional quality criteria of biotechnological products from BM aspirate were developed on the basis of CFU-analysis and calculation of seeding efficiency coefficient (KEP) of MMSK-BM. Conclusions. Quality and safety criteria of biotechnological products based on autologous bone marrow aspirate based on the results of myelograms and CFU analysis have been established. According to the results of myelograms, type 1 BM aspirate was evaluated as excellent for the further manufacture of a biotechnological product, type 2 — good, type 3 — satisfactory. According to the results of the KUOf analysis, the KEP indicator < 0.001 % was evaluated as unsatisfactory, the KEP indicator within the range of 0.001–0.003 % — satisfactory, the KEP indicator > 0.003 % — good. The KEP < 0.001 % — unsuitable for use. Key words. Regenerative orthopedics, regenerative injection therapy, osteoarthritis, avascular necrosis, hip, knee.*

*Аутологічні біотехнологічні продукти на основі кісткового мозку (КМ) є джерелом стовбурових клітин, зокрема гемопоетичних і мультипотентних мезенхімальних стромальних клітин. Вони являють собою один із альтернативних терапевтичних засобів, який може сповільнити дегенерацію хряща, покращити його репарацію та запобігти ендопротезуванню суглоба. Мета. Розробити критерії якості та безпеки маломаніпульованих біотехнологічних продуктів з аутологічного КМ для застосування в пацієнтів із патологією опорно-рухового апарата. Методи. Для отримання біотехнологічних продуктів використано аспірат червоного кісткового мозку 85 пацієнтів з остеоартрозом та асептичним некрозом кульшового та колінного суглобів. В усіх зразках проводили підрахунок клітин у мієлограмі та КУОф-аналіз мультипотентних мезенхімальних стовбурових/стромальних клітин кісткового мозку (ММСК-КМ). Результати. Під час розробки зазначених якостей біотехнологічних продуктів з аспірата КМ встановлено 3 його типи: 1 — поліморфний (клітини-попередники усіх типів у межах норми); 2 — помірноклітинний (присутні всі типи клітин-попередників, але деякі з них нижче норми); 3 — гіпоклітинний (із наявністю більшості типів клітин-попередників, деякі з них нижче норми). Розроблено функціональні критерії якості біотехнологічних продуктів з аспірата КМ на підставі КУОф-аналізу й обчислення коефіцієнта ефективності посіву (КЕП) ММСК-КМ. Висновки. Виявлено критерії якості та безпеки біотехнологічних продуктів на основі аутологічного аспірата КМ за результатами мієлограм та КУОф-аналізу. За результатами мієлограм тип 1 аспірата КМ оцінювали, як відмінний для подальшого виготовлення біотехнологічного продукту, тип 2 — добрий, тип 3 — задовільний. За КУОф-аналізом показник КЕП < 0,001 % визначали як незадовільний, у межах 0,001–0,003 % — задовільний, у разі > 0,003 % — хороший. Аспірат КМ із КЕП < 0,001 % розцінювали непридатним для застосування.*

**Ключові слова.** Регенеративна ортопедія, регенеративна ін'єкційна терапія, остеоартроз, асептичний некроз, кульшовий суглоб, колінний суглоб

## Вступ

Останні досягнення в галузі біотехнологій та регенеративної медицини значно розширили спектр застосування біотехнологічних продуктів, зокрема в травматології та ортопедії. Наразі джерелом клітинних і тканинних продуктів для лікування захворювань і травм опорно-рухового апарата є червоний кістковий мозок (КМ) [1, 2], бо вважається, що він є одним із найбільш доступних джерел мультипотентних мезенхімальних стовбурових/стромальних клітин (ММСК) у дорослому організмі [3, 4]. Тому обговорення перспектив та ефективності використання біотехнологічних продуктів, отриманих із цих тканинних джерел для лікування остеоартрозу й асептичного некрозу кульшового та колінного суглобів, є досить актуальним питанням. Найчастіше в клінічній практиці на сьогодні застосовуються концентрати з КМ, які містять ММСК [5, 6].

Аутологічні біотехнологічні продукти на основі КМ є джерелом стовбурових клітин, зокрема ГСК і ММСК, та виступають одним з альтернативних терапевтичних засобів, який може сповільнити дегенерацію хряща, покращити його репарацію та, у підсумку, запобігти протезуванню суглоба [7, 8]. ММСК здатні не лише безпосередньо диференціюватися у хондроцити, а й продукують багато біологічно активних речовин, які мають імуномодуляторні та протизапальні ефекти, стимулюють ангиогенез і є індукторами хемотаксису для ендогенних прогеніторів. Завдяки високому проліферативному потенціалу *in vitro*, паракринним ефектам і здатності відновлювати uszkodжену хрящову і кісткову тканину *in vivo*, ММСК розглядають як ефективний інструмент для клітинної терапії патології опорно-рухового апарата. Серед досліджених джерел стовбурових і прогеніторних клітин за доступністю, безпекою й очікуваною терапевтичною ефективністю найбільш перспективними можна вважати саме ММСК червоного кісткового мозку (ММСК-КМ) [7].

Ключовими прогностичними характеристиками терапевтичної ефективності біотехнологічних продуктів на основі КМ для регенеративної ортопедії є показники клітинності та співвідношення клітинних типів у мієлограмі (гемопоетичні клітини) та під час проведення КУОф-аналізу стромальних клітин (ММСК-КМ).

**Мета:** розробити критерії якості та безпеки маломаніпульованих біотехнологічних продуктів з аутологічного кісткового мозку для застосу-

вання у пацієнтів з патологією опорно-рухового апарата.

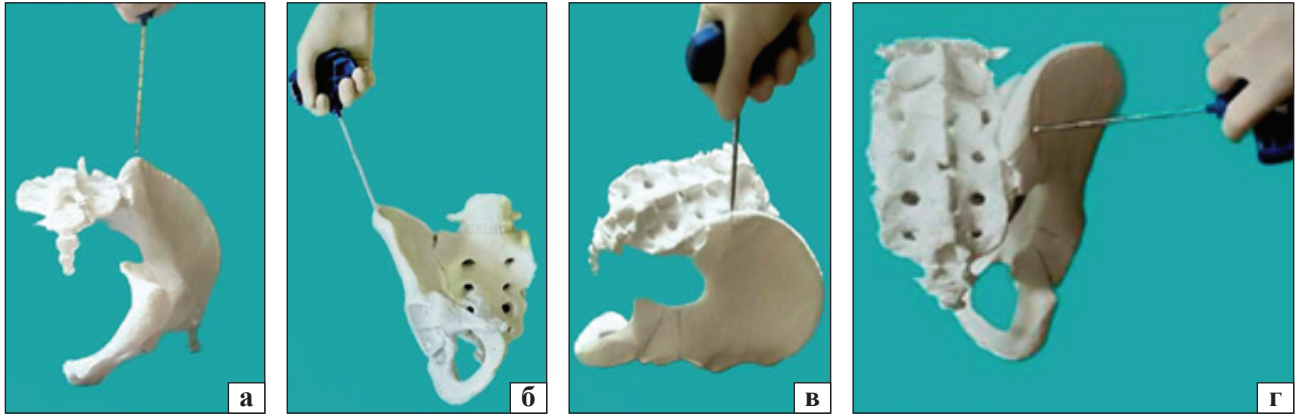
## Матеріал і методи

Дослідження проводилося на базі відділення тканинної та клітинної терапії ДУ «ІТО НАМН України» в період з 2021 по 2024 роки. В усіх пацієнтів перед проведенням дослідження та лікування було отримано інформовану згоду. Роботу виконували з дотриманням принципів біоетики (протокол № 1 засідання комітету з біоетики ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України від 11 січня 2021 року).

Під час дослідження використано аспірат червоного кісткового мозку 85 пацієнтів з остеоартрозом та асептичним некрозом кульшового та колінного суглобів, яким у подальшому виготовлялися біотехнологічні продукти з нього. Аспірат КМ 71 особи застосовано для підрахунку клітин у мієлограмі, а 14 пацієнтів — для КУОф-аналізу ММСК-КМ. Ми проводили виділення червоного кісткового мозку з гребня клубової кістки. Відповідно до літературних джерел ця локалізація переважає інші можливі за кількістю отриманих клітин-попередників порівняно з великогемілковою та п'ятковою кістками [9].

Ми використовували три доступи для аспірації КМ (рис. 1): передній паралельний (через крило клубової кістки) (рис. 1, а), задній паралельний (паралельно до задньої верхньої ості клубової кістки) (рис. 1, б, в) і задній перпендикулярний (перпендикулярно до задньої верхньої осі клубової кістки) (рис. 1, г).

Аспірацію виконували троакаром 11G довжиною 100 або 150 мм, попередньо промивши його просвіт невеликою кількістю гепарину. Після місцевої анестезії, вручну помістивши канюлю в гребінь клубової кістки, обертаючи її за та проти годинникової стрілки, одночасно застосовували осьову силу або притискали троакар до кістки, проштовхуючи канюлю через кірковий шар. Після його проходження, відчували певне полегшення руху троакару, потім заглиблювалися в спонгіозний шар клубової кістки ще на 0,5 см. Упевнившись у стабільному положенні троакару в товщі кістки, під'єднували шприц Luer-Lock, потім обережно тягнули його поршень на себе, без значних зусиль і переконалися в наявності аспірації кісткового мозку у його просвіті. З'ясувавши його наявність, подальший забір слід виконувати повільно, оскільки значні зусилля під час аспірації посилять больовий синдром у пацієнта.



**Рисунок.** Доступи до тазової кістки для забору аспірата КМ: а) передній паралельний; б), в) задній паралельний; г) задній перпендикулярний

Таблиця 1

**Приклад мієлограми пацієнта Г., аспірат якого непридатний для подальшого виготовлення біотехнологічного продукту**

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Ретикулярні клітини		—	0,1–1,6
Бласти, що не піддаються морфологічній диференціації		—	0,1–1,1
Мієлобласти		0	0,2–1,7
Нейтрофільні гранулоцити	Промієлоцити	0,2	1,0–4,1
	Мієлоцити	1,4	7,0–12,2
	Метамієлоцити	0,8	8,0–15,0
	Паличкоядерні	4,0	12,8–23,7
	Сегментоядерні	52,0	13,1–24,1
Еозинофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,5–5,8
	Мієлоцити	—	0,5–5,8
	Метамієлоцити	0,6	0,5–5,8
	Паличкоядерні	—	0,5–5,8
	Сегментоядерні	—	0,5–5,8
Базофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,0–0,5
	Мієлоцити	—	0,0–0,5
	Метамієлоцити	0,2	0,0–0,5
	Паличкоядерні	—	0,0–0,5
	Сегментоядерні	—	0,0–0,5
Елементи еритропоезу:			
– еритробласти		0	0,2–1,1
– пронормоцити		0,2	0,1–1,2
– нормоцити базофільні		2,2	1,4–4,6

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Нормоцити поліхроматофільні		7,2	8,9–16,9
Нормоцити оксифільні		0	0,8–5,6
Промегалобласти		—	—
Мегалобласти базофільні		—	—
Мегалобласти поліхроматофільні		—	—
Мегалобласти оксифільні		—	—
Елементи лімфопоезу:			
– лімфоцити		22,4	4,3–13,7
– плазмоцити		0,2	0,1–1,8
Елементи моноцитопоезу:			
– моноцити		8,6	0,7–3,1
– мітози елементів білого ростка		—	2 : 500
– мітози елементів червоного ростка		—	3 : 500
Індекси кісткового мозку:			
– лейко:еритро		9,4 : 1,0	3,5–4 : 1,0
– визрівання нейтрофілів		0,04	0,6–0,8
– визрівання еритрокаріоцитів		0,8	0,8–0,9

Забір кісткового мозку з однієї зони призводить до зниження кількості мезенхімальних стовбурових клітин через розведення периферичною кров'ю, тому після наповнення 2–3 шприців ми змінювали глибину забору. Отримували 100 мл аспірата для виділення однієї дози мононуклеар-

ної фракції. Для отримання кількох доз, проводили забір із кількох доступів. За потреби використовували для навігації УЗД або С-дугу.

Після завершення процедури забору аспірата КМ рекомендували пацієнту перебувати у горизонтальному положенні протягом 30 хв.



Таблиця 2

## Приклад мієлограми типу 1 пацієнтки С.

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Ретикулярні клітини		—	0,1–1,6
Бласти, що не піддаються морфологічній диференціації		—	0,1–1,1
Мієлобласти		0	0,2–1,7
Нейтрофільні гранулоцити	Промієлоцити	1,2	1,0–4,1
	Мієлоцити	10,4	7,0–12,2
	Метамієлоцити	6,0	8,0–15,0
	Паличкоядерні	15,2	12,8–23,7
	Сегментоядерні	26,4	13,1–24,1
Еозинофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,5–5,8
	Мієлоцити	—	0,5–5,8
	Метамієлоцити	0,4	0,5–5,8
	Паличкоядерні	—	0,5–5,8
	Сегментоядерні	—	0,5–5,8
Базофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,0–0,5
	Мієлоцити	—	0,0–0,5
	Метамієлоцити	0,4	0,0–0,5
	Паличкоядерні	—	0,0–0,5
	Сегментоядерні	—	0,0–0,5
Елементи еритропоезу:			
– еритробласти	0,4	0,2–1,1	
– пронормоцити	0,4	0,1–1,2	
– нормоцити базофільні	3,2	1,4–4,6	

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Нормоцити поліхроматофільні		9,6	8,9–16,9
Нормоцити оксифільні		6,4	0,8–5,6
Промегалобласти		—	—
Мегалобласти базофільні		—	—
Мегалобласти поліхроматофільні		—	—
Мегалобласти оксифільні		—	—
Елементи лімфопоезу:			
– лімфоцити	15,6	4,3–13,7	
– плазмоцити	0,4	0,1–1,8	
Елементи моноцитопоезу:			
– моноцити	4,0	0,7–3,1	
– мітози елементів білого ростка		—	2 : 500
– мітози елементів червоного ростка		—	3 : 500
Індекси кісткового мозку:			
– лейко:еритро	4,0 : 1,0	3,5–4 : 1,0	
– визрівання нейтрофілів	0,4	0,6–0,8	
– визрівання еритрокаріоцитів	0,8	0,8–0,9	

*Виготовлення мазка аспірата кісткового мозку для підрахунку клітинного складу*

Взявши предметне скло за довгі краї, торкалися його поверхнею (відступивши 0,5–1 см від вузького краю) до краплі аспірата (але не до шкіри). Крапля повинна бути невеликого розміру, і її треба розмістити так, щоб весь мазок містився на склі, не доходячи 1–1,5 см до його краю. Його фіксація відбувалася за Май-Грюнвальдом [10]. Забарвлювали мазок аспірата КМ за Романовським: фарбували елементи клітин у різні кольори і відтінки сумішшю основних (азур II) і кислих (водорозчинний жовтий еозин) фарб. Фарбування здійснювали готовим розчином фарби Романовського протягом 40 хв. Після повного висихання мазок готовий до підрахунку, який здійснювали в клінічно-діагностичній лабораторії комунального неприбуткового підприємства «Київська міська клінічна лікарня № 9». За результатами підрахунку мазків формували мієлограму відповідного зразка аспірата КМ.

*КУОф-аналіз ММСК-КМ*

Гепаринізований (2 од/мл гепарину натрія) аспірат червоного кісткового мозку, відібраний з гребеня клубової кістки, засівали в повне ростове середовище, що містило поживне базове середовище MEM alpha modified (BioWest), 10 % ETC (Sigma- Aldrich), 1 нг/мл bFGF (Sigma-Aldrich), розчин антибіотика-антимікотика (BioWest), 2 од/мл гепарину натрія з розрахунку 5,7 млн ядровмісних клітин аспірата червоного кісткового мозку на велику чашку Петрі діаметром 100 мм (3 чашки з 10 мл повного ростового середовища на кожний зразок кісткового мозку) та культивували протягом 14 діб в CO<sub>2</sub>-інкубаторі за 37 °C та в 5 % атмосфери вуглекисню і 96 % вологості. Зміну ростового середовища в чашках проводили кожну третю добу. Після 14 діб культивування чашки Петрі з колоніями (колонієутворюючі одиниці фібробластів, або КУОф) відмивали фосфатно-сольовим буфером та фіксували протягом 20 хв за кімнатної температури розчином забуференого формаліну та фарбували розчином гематоксиліну-еозину. Пофарбовані колонії підраховували.

Таблиця 3

## Приклад мієлограми типу 2 пацієнтки К.

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Ретикулярні клітини		—	0,1–1,6
Бласти, що не піддаються морфологічній диференціації		—	0,1–1,1
Мієлобласти		0,2	0,2–1,7
Нейтрофільні гранулоцити	Промієлоцити	0,6	1,0–4,1
	Мієлоцити	12,8	7,0–12,2
	Метамієлоцити	16,0	8,0–15,0
	Паличкоядерні	8,8	12,8–23,7
	Сегментоядерні	27,2	13,1–24,1
Еозинофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,5–5,8
	Мієлоцити	—	0,5–5,8
	Метамієлоцити	0,6	0,5–5,8
	Паличкоядерні	—	0,5–5,8
	Сегментоядерні	—	0,5–5,8
Базофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,0–0,5
	Мієлоцити	—	0,0–0,5
	Метамієлоцити	0,2	0,0–0,5
	Паличкоядерні	—	0,0–0,5
	Сегментоядерні	—	0,0–0,5
Елементи еритропоєзу:			
– еритробласти		0,2	0,2–1,1
– проноормоцити		0,6	0,1–1,2
– нормоцити базофільні		5,6	1,4–4,6

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Нормоцити поліхроматофільні		9,6	8,9–16,9
Нормоцити оксифільні		0	0,8–5,6
Промегалобласти		—	—
Мегалобласти базофільні		—	—
Мегалобласти поліхроматофільні		—	—
Мегалобласти оксифільні		—	—
Елементи лімфопоєзу:			
– лімфоцити		13,6	4,3–13,7
– плазмоцити		0,2	0,1–1,8
Елементи моноцитопоєзу:			
– моноцити		3,8	0,7–3,1
– мітози елементів білого ростка		—	2 : 500
– мітози елементів червоного ростка		—	3 : 500
Індекси кісткового мозку:			
– лейко:еритро		5,3 : 1,0	3,5–4 : 1,0
– визрівання нейтрофілів		0,8	0,6–0,8
– визрівання еритрокаріоцитів		0,6	0,8–0,9

## Результати

*Морфологічні критерії якості та безпеки аспірата КМ та біотехнологічних продуктів, виготовлених з нього*

За результатами аналізу мієлограм пацієнтів, яким виконувався забір для виготовлення біотехнологічного продукту, усі варіанти аспірованої рідини розділили на 2 типи: аспірат КМ та без ознак наявності КМ. Результати визначення типу аспірата КМ в отриманих 16 зразках — поліморфний, у 26 пробах — помірноклітинний, у 29 — гіпоклітинний.

Під час вивчення аспірованої рідини враховували 2 основні критерії — наявність мегакаріоцитів у мієлограмі, як клітинного маркера кісткового мозку, та показник лейко-еритроцитарного індексу. За відсутності мегакаріоцитів у мієлограмі та лейко-еритроцитарному індексі більше 20 : 1, аспірована рідина не є придатною для подальшого виготовлення біотехнологічного продукту (табл. 1).

Підсумок: пунктат кісткового мозку гіпоклітинний. Мегакаріоцити в препараті відсутні. Ураховуючи наближення клітинного складу кісткового мозку до клітинного складу периферичної крові, відсутність мегакаріоцитів і фрагментів кістковомозкового ретикулуму, не можна виключати значної домішки крові до аспірата.

У свою чергу, аспірат КМ, який отримували під час забору, за результатами аналізу мієлограм розділили на 3 типи. Перший — поліморфний, із наявністю клітин-попередників усіх типів у межах норми. Для такого варіанта аспірата характерна наявність мегакаріоцитів у мієлограмі, лейко-еритроцитарний індекс не перевищує 4 : 1. Приклад мієлограми цього типу аспірата КМ подано в таблиці 2.

Пунктат кісткового мозку помірноклітинний, поліморфний. Розміри еритроциту збережені (20,0 %), із нормальним дозріванням. Гранулоцитарний ряд збережений (59,2 %), переважають зрілі форми гранулоцитів. Мегакаріоцити поодинокі в препараті, вільно розміщені тромбоцити в достатній кількості.

Таблиця 4

## Приклад мієлограми типу 3 пацієнтки С.

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Ретикулярні клітини		—	0,1–1,6
Бласти, що не піддаються морфологічній диференціації		—	0,1–1,1
Мієлобласти		0	0,2–1,7
Нейтрофільні гранулоцити	Промієлоцити	0	1,0–4,1
	Мієлоцити	2,8	7,0–12,2
	Метамієлоцити	1,6	8,0–15,0
	Паличкоядерні	3,6	12,8–23,7
	Сегментоядерні	42,0	13,1–24,1
Еозинофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,5–5,8
	Мієлоцити	—	0,5–5,8
	Метамієлоцити	0,8	0,5–5,8
	Паличкоядерні	—	0,5–5,8
	Сегментоядерні	—	0,5–5,8
Базофільні гранулоцити	Промієлоцити	—	0,0–0,5
	Мієлоцити	—	0,0–0,5
	Метамієлоцити	0,4	0,0–0,5
	Паличкоядерні	—	0,0–0,5
	Сегментоядерні	—	0,0–0,5
Елементи еритропоезу:			
– еритробласти		0	0,2–1,1
– пронормоцити		0	0,1–1,2
– нормоцити базофільні		2,4	1,4–4,6

Клітинний елемент		Результат	Норма (в % за А. І. Воробйовим)
Нормоцити поліхроматофільні		6,4	8,9–16,9
Нормоцити оксифільні		1,2	0,8–5,6
Промегалобласти		—	—
Мегалобласти базофільні		—	—
Мегалобласти поліхроматофільні		—	—
Мегалобласти оксифільні		—	—
Елементи лімфопоезу:			
– лімфоцити		32,0	4,3–13,7
– плазмоцити		0	0,1–1,8
Елементи моноцитопоезу:			
– моноцити		6,4	0,7–3,1
– мітози елементів білого ростка		—	2 : 500
– мітози елементів червоного ростка		—	3 : 500
Індекси кісткового мозку:			
– лейко:еритро		9,0 : 1,0	3,5–4 : 1,0
– визрівання нейтрофілів		0,1	0,6–0,8
– визрівання еритрокаріоцитів		0,8	0,8–0,9

Тип 2 — помірноклітинний (із наявністю усіх типів клітин-попередників, але деякі з них нижче норми). Для цього варіанта аспірата характерна наявність мегакаріоцитів у мієлограмі, лейкоеритроцитарний індекс складає (5 : 1)–(10 : 1).

Приклад мієлограми такого типу аспірата КМ наведено в таблиці 3.

Отже, пунктат кісткового мозку помірноклітинний. Розміри еритрона збережені, ближче до нижньої межі норми, із затримкою дозрівання на молодих формах. Гранулоцитарний ряд збережений, із нормальним дозріванням. Мегакаріоцити поодинокі в препараті.

Тип 3 — гіпоклітинний, із наявністю більшості типів клітин-попередників, деякі з них нижче норми. Для цього варіанта аспірата характерна наявність мегакаріоцитів у мієлограмі, лейкоеритроцитарний індекс складає (10 : 1)–(20 : 1).

Приклад мієлограми такого типу аспірата КМ подано в таблиці 4.

Виявлено, що клітинність пунктату кісткового мозку знижена. Наведено клітини всіх паростків гемопоезу на різних етапах дозрівання.

Тип 1 аспірата КМ оцінювали, як відмінний для подальшого виготовлення біотехнологічного продукту, тип 2 — добрий, тип 3 — задовільний.

*Функціональні критерії якості аспірата КМ та біотехнологічних продуктів, виготовлених із нього*

На сьогодні КУОФ-аналіз вважається одним із «золотих стандартів» для визначення частоти клоногенних ММСК-КМ. За результатами аналізу культивування ядровмісних клітин аспірата КМ підраховували кількість колоній у трьох пробах та визначали середній показник для кожного пацієнта. Розраховували коефіцієнт ефективності посіву (відсоток ММСК серед усіх ядровмісних клітин) за наступною формулою:  $\text{КЕП (коефіцієнт ефективності посіву)} = \frac{\text{середня кількість колоній у трьох пробах кожного хворого} \cdot 100}{5,7 \text{ млн (кількість ядровмісних клітин на 1 велику чашку Петрі)}}$ . Результати визначення ефективності посіву наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

## Визначення ефективності посіву ядромісних клітин аспірата КМ

№ пацієнта	Кількість ядромісних клітин у 5 мл зразку аспірата КМ (млн)	Кількість колоній (КУО) ядромісних клітин (ЯВК) у трьох зразках	Середня кількість колоній ЯВК	КЕП (%)
1	145,0	246	199,00	0,0035
		163		
		188		
2	230,0	203	195,00	0,0034
		157		
		225		
3	79,5	345	336,70	0,0059
		298		
		367		
4	247,0	203	205,33	0,0036
		211		
		202		
5	83,0	139	127,67	0,0022
		126		
		118		
6	242,0	263	209,67	0,0037
		235		
		131		
7	150,0	104	94,66	0,0017
		117		
		63		
8	281,0	289	264,00	0,0046
		271		
		232		
9	77,0	55	78,33	0,0013
		77		
		103		
10	191,0	96	106,33	0,0019
		122		
		101		
11	316,0	88	85,00	0,0015
		87		
		80		
12	86,0	38	24,33	0,004
		24		
		11		
13	106,0	99	121,67	0,0020
		117		
		149		
14	167,0	129	165,67	0,0030
		158		
		210		



Вважали незадовільним показник КЕП  $< 0,001$  %, у межах  $0,001$ – $0,003$  % — задовільним, у разі  $> 0,003$  % — хорошим. Таким чином, аспірат КМ із КЕП  $< 0,001$  % розцінювали як такий, що є непридатним для застосування в якості біотехнологічного продукту. Оптимальним для використання є аспірат КМ із КЕП  $> 0,003$  % (тобто більше 3 клональних колоній ММСК на  $1 \times 10^5$  ЯСК аспірата КМ).

## Обговорення

На сьогодні аутологічний аспірат кісткового мозку все ширше використовується для лікування пацієнтів ортопедо-травматологічного профілю, зокрема за умов остеоартрозу й асептичного некрозу [11, 12]. Літературні джерела описують лікування аутологічним концентрованим аспіратом КМ здебільшого як «терапію стовбуровими клітинами» [13, 14]. Проте слід зазначити, що він містить різні типи клітин, більшість з яких належать до гемопоетичних ліній, а не мезенхімальних. Проведене нами дослідження також підтверджує цей факт. Ми, як і інші дослідники, виявили лише незначний відсоток мезенхімальних стовбурових клітин в аспіраті кісткового мозку [15, 16]. Цей факт засвідчує про доцільність детальнішого підходу до термінології біотехнологічних продуктів. Говорити про лікування мезенхімальними стовбуровими клітинами можна лише у випадку, якщо вони були виділені з аспірата кісткового мозку та культивовані *in vitro*.

У разі застосування аспірата КМ та його похідних (концентрований аспірат КМ, моноклеарна фракція аспірата КМ) доцільніше вживати термін «регенеративна терапія», оскільки найкращим поясненням позитивного впливу біотехнологічних продуктів із аспірата кісткового мозку є паракринний ефект отриманого клітинного концентрату за рахунок факторів росту, які він містить [17].

## Висновки

У результаті розробки критеріїв якості та безпеки біотехнологічних продуктів з аспірата кісткового мозку встановлено 3 його типи: 1 — поліморфний (із наявністю клітин-попередників усіх типів у межах норми); 2 — помірноклітинний (присутні усі типи клітин-попередників, але деякі з них нижче норми); 3 — гіпоклітинний (більшість типів клітин-попередників, деякі з них нижче норми). Тип 1 аспірата кісткового мозку оцінювали, як відмінний для подальшого виго-

товлення біотехнологічного продукту, тип 2 — добрий, тип 3 — задовільний.

Для визначення функціональних критеріїв якості біотехнологічних продуктів із аспірата КМ використовували КУОф-аналіз та коефіцієнт ефективності посіву ММСК-КМ. За показника КЕП  $< 0,001$  % він незадовільний, у межах  $0,001$ – $0,003$  % оцінювали, як задовільний, у разі  $> 0,003$  % — як хороший. Аспірат КМ із КЕП  $< 0,001$  % є непридатним до застосування.

Встановлено, що мезенхімальні стовбурові клітини складають незначну популяцію в аспіраті кісткового мозку, а клінічний вплив біотехнологічних продуктів, виготовлених з аспірата кісткового мозку ймовірно відбувається за рахунок гемопоетичних клітин-попередників.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Дослідження культивованих аутологічних та алогенних біотехнологічних продуктів кісткового мозку, розробка їх критеріїв якості та безпеки, розробка диференційованого та персоналізованого підходу до застосування мінімально маніпульованих і культивованих біотехнологічних продуктів у пацієнтів ортопедо-травматологічного профілю

**Інформація про фінансування.** Фінансування досліджень, результати яких опубліковані в статті, відбувалося в межах НДР «Розробити та експериментально дослідити регенеративні технології за остеоартрозу та асептичного некрозу кульшового та колінного суглобів» (№ держреєстрації 0122U000200).

**Внесок авторів.** Страфун С. С. — визначення напрямів дослідження, оформлення висновків; Голюк С. Л. — аналіз результатів дослідження, написання статті; Зубов Д. О. — дослідження функціональних критеріїв якості аспірата кісткового мозку та біотехнологічних продуктів, виготовлених із нього, КУОф-аналіз мультипотентних мезенхімальних стовбурових/стромальних клітини; Магомедов С. — обробка та виготовлення мазків аспірата кісткового мозку для підрахунку клітинного складу; Стародуб Г. С. — аналіз мієлограм пацієнтів; Малова Х. К. — підрахунок клітин у мієлограмах пацієнтів.

## Список літератури

1. Eder, C., Schmidt-Bleek, K., Geissler, S., Sass, F. A., Maleitzke, T., Pumberger, M., Perka, C., Duda, G. N., & Winkler, T. (2020). Mesenchymal stromal cell and bone marrow concentrate therapies for musculoskeletal indications: A concise review of current literature. *Molecular Biology Reports*, 47(6), 4789–4814. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05428-0>
2. Deng, Z., Luo, F., Lin, Y., Luo, J., Ke, D., Song, C., & Xu, J. (2022). Research trends of mesenchymal stem cells application in orthopedics: A bibliometric analysis of the past 2 decades. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1021818>
3. Wagner, W., Wein, F., Seckinger, A., Frankhauser, M., Wirkner, U., Krause, U., Blake, J., Schwager, C., Eckstein, V., Ansoorge, W., & Ho, A. D. (2005). Comparative characteristics of mesenchymal stem cells from human bone marrow, adipose tissue, and umbilical cord blood. *Experimental Hematology*, 33(11), 1402–1416. <https://doi.org/10.1016/j.exphem.2005.07.003>
4. Xia, P., Wang, X., Lin, Q., & Li, X. (2015). Efficacy of mesenchymal stem cells injection for the management of knee

- osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *International Orthopaedics*, 39(12), 2363–2372. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-2785-8>
5. Puissant, B., Barreau, C., Bourin, P., Clavel, C., Corre, J., Bousquet, C., Taureau, C., Cousin, B., Abbal, M., Laharague, P., Penicaud, L., Casteilla, L., & Blancher, A. (2005). Immunomodulatory effect of human adipose tissue-derived adult stem cells: Comparison with bone marrow mesenchymal stem cells. *British Journal of Haematology*, 129(1), 118–129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.2005.05409.x>
  6. Pak, J. (2011). Regeneration of human bones in hip osteonecrosis and human cartilage in knee osteoarthritis with autologous adipose-tissue-derived stem cells: A case series. *Journal of Medical Case Reports*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1752-1947-5-296>
  7. Linetsky, F. S., Alfredson, H., Crane, D., & Centeno, C. J. (2014). Treatment of chronic painful musculoskeletal injuries and diseases with regenerative injection therapy (RIT): Regenerative injection therapy principles and practice. *Treatment of Chronic Pain by Integrative Approaches*, 145–168. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1821-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1821-8_12)
  8. Centeno, C. J., Kisdlay, J., Freeman, M., & John, R. S. (2006). Partial regeneration of the human hip via autologous bone marrow nucleated cell transfer: A case study. *Pain Physician*, 9, 253–256.
  9. Bowen, J. E. (2015). Technical issues in harvesting and concentrating stem cells (Bone marrow and adipose). *PM&R*, 7(4S). <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.01.025>
  10. Varenjuk, I. M., & Dzerzhynskiy, M. Ye. (2019). *The methods of cytohistologic diagnostic*. Kyiv, Interservice.
  11. Kim, G. B., Seo, M., Park, W. T., & Lee, G. W. (2020). Bone marrow aspirate concentrate: Its uses in osteoarthritis. *International journal of molecular sciences*, 21(9), 3224. <https://doi.org/10.3390/ijms21093224>
  12. Jindal, K., Aggarwal, S., Kumar, P., & Rathod, P. (2021). Core decompression with bone marrow aspirate concentrate in post collapse avascular necrosis of hip: A systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 17, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.02.010>
  13. Pithadia, P. (2021). BMAC and adipose-derived MSCs treatment for knee osteoarthritis: A systematic review. *International journal of clinical case reports and reviews*, 7(04), 01-11. <https://doi.org/10.31579/2690-4861/150>
  14. Brozovich, A., Sinicrope, B. J., Bauza, G., Niclot, F. B., Lintner, D., Taraballi, F., & McCulloch, P. C. (2021). High variability of Mesenchymal stem cells obtained via bone marrow aspirate concentrate compared with traditional bone marrow aspiration technique. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(12). <https://doi.org/10.1177/23259671211058459>
  15. Goodman, S. B., & Zwingenberger, S. (2021). Concentrated autologous bone marrow aspirate is not “stem cell” therapy in the repair of nonunions and bone defects. *Biomaterials and Biosystems*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.bbiosy.2021.100017>
  16. Schäfer, R., DeBaun, M. R., Fleck, E., Centeno, C. J., Kraft, D., Leibacher, J., Bieback, K., Seifried, E., & Drago, J. L. (2019). Quantitation of progenitor cell populations and growth factors after bone marrow aspirate concentration. *Journal of translational medicine*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12967-019-1866-7>
  17. Sugaya, H., Yoshioka, T., Kato, T., Taniguchi, Y., Kumagai, H., Hyodo, K., Ohneda, O., Yamazaki, M., & Mishima, H. (2018). Comparative analysis of cellular and growth factor composition in bone marrow aspirate concentrate and platelet-rich plasma. *Bone marrow research*, 2018, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/1549826>

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024	Отримано після рецензування 10.01.2025	Прийнято до друку 16.01.2025
---	---	---------------------------------

## QUALITY CRITERIA FOR MINIMALLY MANIPULATED BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTS BASED ON AUTOLOGOUS BONE MARROW ASPIRATE FOR USE IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

S. S. Strafun<sup>1</sup>, Ye. L. Holiuk<sup>1</sup>, D. O. Zubov<sup>1</sup>, O. M. Magomedov<sup>1</sup>, H. S. Starodub<sup>2</sup>, H. K. Malova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SI «National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup> SU «National Scientific Center of Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the NAMS of Ukraine», Kyiv

<sup>3</sup> Kyiv City Clinical Hospital No. 9. Ukraine

✉ Sergiy Strafun, MD, Prof.: [strafun-s@ukr.net](mailto:strafun-s@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0003-2485-5487>

✉ Yevhen Holiuk, MD, PhD in Orthopaedics and Traumatology: [holyuk@yahoo.com](mailto:holyuk@yahoo.com); <https://orcid.org/0000-0001-8940-8536>

✉ Dmytro Zubov, PhD in Biol.Sci: [Zoubov77@yahoo.com](mailto:Zoubov77@yahoo.com); <https://orcid.org/0000-0002-3134-2594>

✉ Sadrudin Magomedov, Dr in Biol. Sci, Prof.: [alexandr@magomedov.kiev.ua](mailto:alexandr@magomedov.kiev.ua); <https://orcid.org/0000-1234-5678-9101>

✉ Halyna Starodub, MD, PhD: [gal.starodub@gmail.com](mailto:gal.starodub@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-8402-2156>

✉ Hrustyna Malova, MD: [kristyna.malova@gmail.com](mailto:kristyna.malova@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0000-6534-948X>

УДК 616-001.5-089.5004.942(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025165-74>

## Особливості деформування моделі «уламки – зовнішній стрижневий апарат» у разі застосування конструкцій із різною геометрією будови

О. К. Попсуйшапка<sup>1,2</sup>, І. А. Суббота<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

<sup>2</sup> Харківський національний медичний університет, Україна

*Objective.* To study the linear and angular displacements of the "fragments" during their connection with an external rod apparatus manufactured by HB ORTHO (Ukraine) or Orthofix (USA) under different variants of the geometry of the "fragments – apparatus" structure in order to clarify the mechanical principles of its rational construction. *Methods.* The model was rigidly fixed at one end in a horizontal position, and a transverse force was alternately applied to the opposite end using weights of 1, 2, 3, 4, 5 kg. The experiment involved the study of the magnitude and nature of the displacement of the fragments depending on the following parameters of the rods: the number of rods in the fragment (2 or 3); diameter (5, 6 mm); length of the rod section from the bone to the support (100, 50 mm); length of the bone section between the extreme rods (150, 100 mm); the presence of a multi-plane arrangement of the rods and, in particular, when they formed a 45° angle between them, the number of external supports: one or two, located in parallel or side by side. *Results.* The first most important parameter that influenced the amount of displacement of the distal "fragment" was the distance from the bone to the support. In the case of a distance of 50 mm, the amount of displacement of the fragment is 2–4 times less than in the case of 100 mm. The second parameter that influenced the displacement of the fragments was the length of the bone section between the extreme rods screwed into the fragment. If it is reduced by 30 %, the displacement increases by 64% and almost does not depend on whether 2 or 3 rods were used. It is possible to significantly reduce the displacement of the distal fragment (at least twofold) by inserting rods in different planes, in particular, by positioning the rod so that in the proximal fragment near the fracture in a plane that is 45° to the frontal plane. With a gradual transverse load, the deformation of the structure at the initial stages (1, 2, 3 kg) is elastic in nature and with an increase (up to 4–5 kg), residual deformation occurs due to: movement of the clamp on the cylindrical support; plastic deformation of the rods, which is inherent in HB ORTHO devices (Ukraine). *Keywords.* Femoral fracture, external fixation device, loading.

*Мета.* Дослідити на фізичній моделі лінійні та кутові переміщення «уламків» під час їхнього з'єднання зовнішнім стрижневим апаратом виробництва «HB ORTHO» (Україна) чи пристроєм «Orthofix» (США) за різних варіантів геометрії конструкції «уламки – апарат» для з'ясування механічних принципів її раціональної побудови. *Методи.* Модель одним кінцем жорстко закріплювали в горизонтальному положенні, а до протилежного почергово прикладали поперечну силу, використовуючи гири масою 1, 2, 3, 4, 5 кг. Експеримент передбачав дослідження величини та характеру переміщень уламків залежно від таких параметрів стрижнів: кількість в уламку (2 або 3); діаметр (5, 6 мм); довжина ділянки стрижня від кістки до опори (100, 50 мм); довжина ділянки кістки між крайніми стрижнями (150, 100 мм); наявність різноплоскостного розташування стрижнів і зокрема, коли вони утворювали між собою кут 45°, кількість зовнішніх опор: одна або дві, розташовані паралельно чи поряд. *Результати.* Першим за значущістю параметром, який впливав на величину переміщення дистального «уламка» є відстань від кістки до опори. У разі відстані в 50 мм величина переміщення уламка в 2–4 рази менша, ніж за 100 мм. Другим параметром, який впливав на переміщення уламків є довжина ділянки кістки, що знаходиться між крайніми стрижнями загвинченими в уламок. За зменшення її на 30 % величина переміщення збільшується на 64 % і майже не залежить від того, було заведено 2 чи 3 стрижні. Суттєво зменшити переміщення дистального уламка (мінімум удвічі) можна шляхом різноплоскостного заведення стрижнів, зокрема розташувавши стрижень щоб він знаходився в проксимальному уламку поблизу перелома в площині, яка розташована під 45° до фронтальної. За ступеневого поперечного навантаження деформації конструкції на початкових етапах (1, 2, 3 кг) мають пружний характер, зі збільшенням (до 4–5 кг) виникає залишкове викривлення через: переміщення затискача на циліндричній опорі; пластичну деформацію стрижнів, яка притаманна апаратам «HB ORTHO» (Україна).

**Ключові слова.** Перелом стегнової кістки, зовнішній стрижневий апарат, навантаження



## Вступ

Наявність великої кількості вогнепальних переломів кінцівок змінила пріоритетність методів з'єднання уламків і тепер застосування зовнішніх стрижневих апаратів (ЗСА) стає однією із головних тем, в якій з'являються нові теоретичні уявлення та практичні запити. Під час з'єднання уламків ЗСА утворюється нежорстка конструкція, в якій можливі певні їхні переміщення на відміну від конструкцій зі застосуванням пластини або інтрамедулярного блокованого стрижня. Дослідження на експериментальних моделях і хворих показали, що під час з'єднання уламків ЗСА лінійне переміщення їх кінців складало в межах 0,6–16 мм [1, 3, 11], а за накісткового остеосинтезу 0,017–0,07 мм [2]. Різниця була один-два порядки. Ми вже звертали увагу на те, що наявність переміщення уламка(ів) у разі дії навантаження не є ознакою нестабільного стану конструкції за умови, якщо воно має пружний (тимчасовий характер). Відповідно пропонували використовувати терміни «жорстка конструкція» по відношенню до з'єднання уламків пластиною або блокованим стрижнем і «пружна конструкція» для тих, що з'єднано зовнішнім стрижневим (спицевим) апаратом. В обох випадках це будуть стабільні конструкції [4].

Як показали наші попередні дослідження, пружні деформації зламаного сегмента з указаними переміщеннями кінців уламків на перших етапах апаратного лікування діафізарних переломів не порушують процес зрощення, а навпаки, приводять до формування періостального кісткового регенерата. Механізми формування його в умовах пружних переміщень уламків наведені в наших публікаціях [5]. Але, як показує практика, ризик їхнього повторного зміщення під час використання ЗСА існує [7]. Слід розуміти, що він є очікуваним і його можна здебільшого запобігти маючи відповідні знання, досвід і технічні можливості.

У сучасній науковій літературі бракує інформації щодо обґрунтування механічно і геометрично раціональних конструкцій «уламки – ЗСА» для переломів певної локалізації. Увага зосереджена на виборі місць заведення стрижнів з урахуванням анатомо-топографічних особливостей судин, нервів і сухожилко-м'язових утворень [9, 10] а також дослідженні міцності пристроїв або їх елементів із застосуванням різних матеріалів [6, 14]. У роботах підтверджується принцип доцільності використання різноплощинного заве-

дення стрижнів для досягнення більш надійної фіксації уламків [12, 13].

На нашому клінічному матеріалі [7] установлено, що частіше за все у постраждалих із вогнепальними переломами кінцівок у період 2022–2024 р. використано зовнішній стрижневий апарат виробництва «НВ ORTHO» (Україна) та апарат «Orthofix» (США). Причому в 87,5 % постраждалих ці апарати застосовані як основний спосіб фіксації уламків (без заміни на занурений остеосинтез).

*Мета:* дослідити на фізичній моделі лінійні та кутові переміщення «уламків» під час їхнього з'єднання зовнішнім стрижневим апаратом виробництва «НВ ORTHO» (Україна) та апаратом «Orthofix» (США) за різних варіантів геометрії конструкції «уламки – апарат» для з'ясування механічних принципів її раціональної побудови.

## Матеріал і методи

Досліджували моделі з використанням ЗСА українського виробництва «НВ ORTHO» та іноземного виробника «Orthofix» (модель Galaxy Fixation Gemini) [8], які частіше за все застосували для лікування вогнепальних переломів в Україні в період 2022–2024 р. [7]. Указані пристрої хоча конструктивно відрізняються, але за функціональним призначенням є спорідненими, їх прийнято використовувати для тимчасової фіксації уламків у разі відкритих переломів на період поки не загоїться рана. Характерною їхньою особливістю є те, що вони передбачають можливість створення різної геометрії конструкції залежно від локалізації перелому, ушкодження м'яких тканин, а також уявлень хірурга про її механічну надійність.

За основу обрано ситуацію перелому стегнової кістки, коли уламки фіксували стрижневим апаратом. Клінічна практика свідчить, що в цьому випадку завжди виникає стан, коли ушкоджена кінцівка опиняється горизонтально і водночас на дистальний фрагмент діє поперечна сила маси кінцівки, а на проксимальний уламок може діяти сила в протилежному напрямі в результаті напруження *m. iliopsoas* (рис. 1). Сила, яка діє донизу має значну величину, особливо якщо гомілка знаходиться в розігнутому положенні, оскільки подовження важеля збільшує момент сили. Така ситуація є максимально небезпечною через можливість повторного зміщення уламків, якщо вони фіксовані стрижневим апаратом. Останній досвід лікування вогнепальних переломів показує, що найскладніше утримати уламки апаратом за



локалізації перелому у верхній половині стегнової кістки [7]. Якщо голілку зігнути до прямого кута, момент сили суттєво зменшиться. Коли ушкоджена кінцівка знаходиться у вертикальному положенні, вектор навантаження співпадає з віссю стегнової кістки, а стопа взаємодіє з опорною поверхнею (чим нейтралізується дія сили маси дистального фрагмента), ситуація стає менш небезпечною. Біомеханічні дослідження на фізичній моделі довели, що в разі вісьового навантаження уламки з'єднані ЗСА переміщуються значно менше, ніж за поперечного [3].

Фізична модель (рис. 2) являла собою циліндричний дерев'яний (буковий) брусок довжиною 400 мм, діаметром 35 мм, що відповідає середнім антропометричним розмірам стегнової кістки. Посередині брусок поперечно перепилували і з'єднували ЗСА зі застосуванням геометрично різних схем відповідно до плану експерименту. Отриману таким чином модель «уламки – ЗСА» одним кінцем жорстко закріплювали в горизонтальному положенні і до протилежного кінця ступенево прикладали поперечну силу, використовуючи гири масою 1, 2, 3, 4, 5 кг. Реєстрацію переміщення уламків проводили фотометрично, камерою фіксованою на штативі, при цьому модель розташована на міліметровому папері. Вимірювали величину лінійного переміщення дистального

(а) «уламка» моделі між стандартно обраними точками металевою лінійкою та його кутового переміщення (б). Вимірювання проводили під дією навантаження і після видалення відповідної гири. Якщо мало місце залишкове зміщення (а1), його також фіксували та вимірювали. За кожного варіанта побудову конструкції дослідження проводили тричі і брали за основу середнє значення величин переміщення. Після кожного експерименту з'єднання стрижнів із зовнішньою опорою поновлювали, гайки максимально затискали.

Експеримент передбачав дослідження величини та характеру переміщень уламків залежно від низки ключових (на наш погляд) геометричних параметрів конструкції «уламки – ЗСА». Нас цікавила залежність величини переміщень уламків від наступних параметрів (рис. 3):

- кількість стрижнів в уламку (N) — 2 або 3;
- діаметр стрижнів (D) — 5 або 6 мм;
- довжина ділянки стрижня від кістки до опори (L) — 100 або 50 мм;
- довжина ділянки кістки між крайніми стрижнями (H) — 150 або 100 мм;
- наявність різноплощинного розташування стрижнів і коли вони утворювали кут (G) 45°;
- кількість зовнішніх опор: одна або дві, розташовані паралельно поряд.

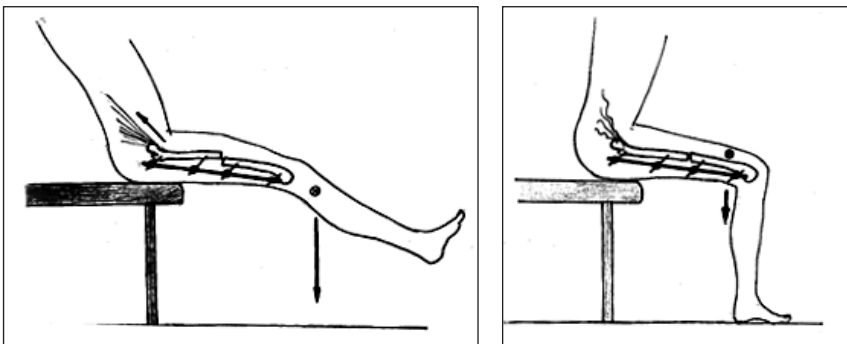


Рис. 1. Схеми, які ілюструють механіку зміщення уламків стегнової кістки в різних положеннях кінцівки

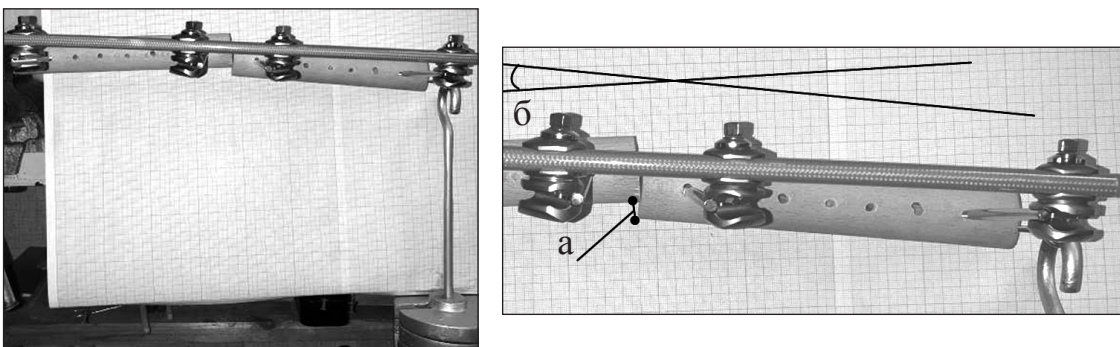


Рис. 2. Загальний вигляд моделі в стані навантаження та деформації: а — лінійне переміщення дистального «уламка»; б — кутове переміщення дистального «уламка»

Загалом проведено експеримент переміщень дистального уламка за 15 варіантами конфігурацій конструкції «уламка – ЗСА» із використанням апарата «НВ ORTHO» (10) і «Orthofix» (9) (табл. 1).

Дослідження виконані в лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (завідувач лабораторією доктор медичних наук О. А. Тяжелов).

## Результати

У разі поперечного навантаження моделі виявлено, що дистальний уламок однотипно рухався в просторі в сагітальній площині. Його повздовжня вісь переміщувалася під кутом і по ширині, як показано на рис. 2.

Величини переміщення дистального «уламка» під дією максимального (5 кг) поперечного навантаження за різних геометричних параметрів моделі наведені в таблиці 1.

Експеримент показав, що як лінійні, так і кутові переміщення дистального фрагмента відносно проксимального під дією ступеневого навантаження за своїми величинами корелюють між собою. Тому як основний критерій обрали величини лінійного переміщення (а) уламка за ступеневого навантаження, яким можна порівнювати деформування конструкцій між собою.

На початку розглянемо лінійні переміщення (а) у разі фіксації фрагментів апаратом «НВ ORTHO» в геометричних параметрах, зазначених у порядкових номерах 1–4 таблиці 1 (рис. 4).

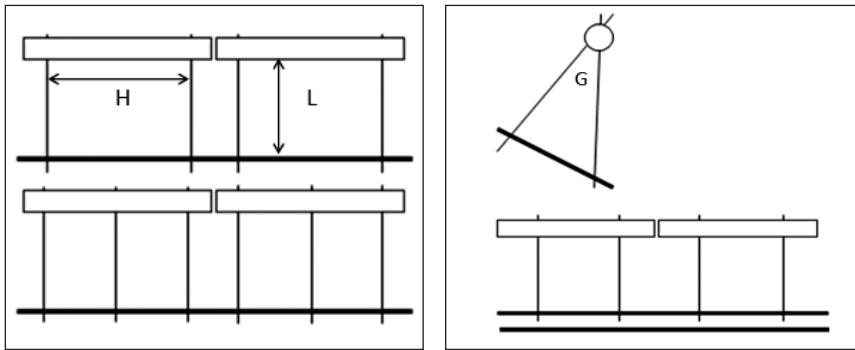


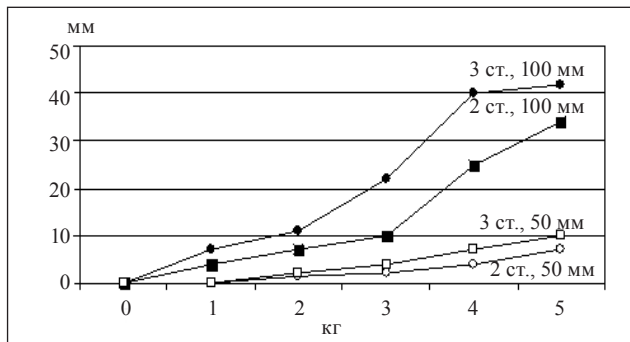
Рис. 3. Деякі основні схеми, які ілюструють геометричні параметри будови конструкції «уламка – ЗСА»

Таблиця 1

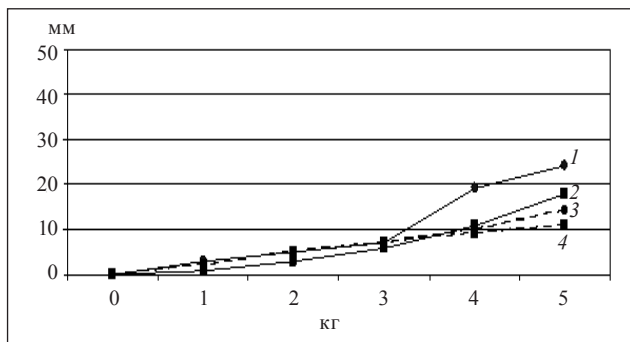
Переміщення дистального «уламка» під дією максимального (5 кг) поперечного навантаження моделі за різних геометричних параметрів конструкції «уламка – ЗСА»

№ з/п	Геометричний параметр конструкції						Величина переміщення дистального уламка за максимального навантаження (5 кг)			
	кількість стрижнів в уламках N	діаметр стрижня D (мм)	довжина ділянки стрижня L (мм)	довжина ділянки кістки H (мм)	кут між площинами G (град.)	кількість зовнішніх опор	«НВ ORTHO»		«Orthofix»	
							лінійні А (мм)	кутові Б (град.)	лінійні А (мм)	кутові Б (град.)
1	2	5	100	150	—	1	33,8	14,0	—	—
2	3	5	100	150	—	1	41,7	17,1	—	—
3	2	5	50	150	—	1	6,8	4,0	—	—
4	3	5	50	150	—	1	10,0	6,0	—	—
5	2	6	100	150	—	1	23,9	14,0	13,8	11,0
6	3	6	100	150	—	1	18,2	12,0	11,0	13,0
7	2	6	50	150	—	1	4,0	7,9	4,0	6,0
8	3	6	50	150	—	1	4,7	3,0	3,0	5,0
9	2	6	100	100	—	1	—	—	23,1	9,9
10	3	6	100	100	—	1	—	—	18,8	15,0
11	2	6	50	100	—	1	—	—	9,0	4,0
12	3	6	50	100	—	1	—	—	9,0	5,0
13	2	6	100	150	10	1	25,2	13,0	—	—
14	2	6	100	150	45	1	—	—	10,0	12,0
15	2	5	100	150	—	2	17,0	14,0	—	—

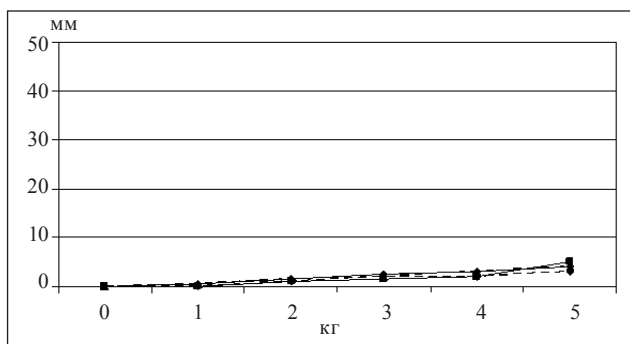
Ця серія експерименту продемонструвала поведінку моделі в разі застосування стрижнів із діаметром 5 мм і довжиною 200 мм, які були в комплектації зазначеного апарата. За довжини ділянки стрижнів 100 мм (від опори до кістки) відбувалося значне переміщення (а) дистального фрагмента, до 33,8 мм у разі заведення 2-х стрижнів у кожний уламок і 41,7 мм під час введення 3-х. За зменшення довжини ділянки стрижнів між



**Рис. 4.** Лінійні переміщення (а) у разі ступеневого навантаження моделі за геометричних параметрів, указаних під номерами 1–4 таблиці



**Рис. 5.** Лінійні переміщення під час ступеневого навантаження моделей за геометричних параметрів, указаних під номерами 5 і 6 таблиці з використанням апаратів «НВ ORTHO» (1 — 3 ст., 100 мм; 2 — 3 ст., 100 мм) і «Orthofix» (3 — 3 ст., 100 мм; 4 — 3 ст., 100 мм)



**Рис. 6.** Лінійні переміщення під час ступеневого навантаження моделей із застосуванням апаратів «НВ ORTHO» і «Orthofix» за аналогічних геометричних параметрів і використання стрижнів із діаметром 6 мм

опорою і кісткою до 50 мм переміщення зменшувалося, як порівняти з попередньою ситуацією у 4–5 разів, до 6,8 мм та 10 мм відповідно. Звертаємо увагу на те, що величина переміщення суттєво не залежала від того, заведено 2 чи 3 стрижні в кожний із улаmkів. Порівняти отримані дані з такими під час застосування апарата «Orthofix» було не можливо, оскільки його комплектація не передбачала стрижні з діаметром 5 мм із довжиною більше 100 мм. Це зробили в серії експерименту, де передбачені та використані стрижні з діаметром 6 мм.

Друга серія роботи полягала в порівнянні переміщень у разі застосування апаратів «НВ ORTHO» і «Orthofix» за аналогічних геометричних параметрів і застосування стрижнів із діаметром 6 мм (номера 5–8 у таблиці) (рис. 5).

Перше, що виявлено — це те, що за фіксації апаратом «Orthofix» переміщення А значно менші — на 40 %, як порівняти з апаратом «НВ ORTHO» — 23,9 мм, 18,2 мм і 13,8 мм, 11 мм відповідно за довжини ділянки стрижнів 100 мм. Але після зменшення ділянок стрижнів до 50 мм різниці у величині переміщень не було і водночас вони в 2–4 разів менші ніж за довжини ділянки стрижнів 100 мм. Також видно, що на величину переміщення суттєво не впливала кількість стрижнів у кожному із улаmkів (2 або 3).

Під час дослідження деформування конструкції встановлено важливу особливість. Вона полягала в тому, що під час перших ступеней навантаження (1, 2, 3 кг) деформація мала пружний характер, тобто після зняття навантаження «уламки» поверталися в початкове положення. У разі наступних ступенів навантаження (4 і 5 кг) після його зняття з'являлася залишкова деформація конструкції, яку в механіці характеризують як пластичну. Отже, можна стверджувати, що конструкція «уламки – ЗСА» під час ступеневого поперечного навантаження деформується за пружно-пластичним типом. У разі порівняння величини залишкової деформації за максимального навантаження (5 кг) зі застосуванням апарата «Orthofix» вона склала 43 %, а з «НВ ORTHO» — 76,5 %. Наводимо графіки, які відображають лінійні переміщення кінців «улаmkів» під час ступеневого навантаження моделей із застосуванням апаратів «НВ ORTHO» і «Orthofix» за аналогічних геометричних параметрів і використання стрижнів із діаметром 6 мм (рис. 6).

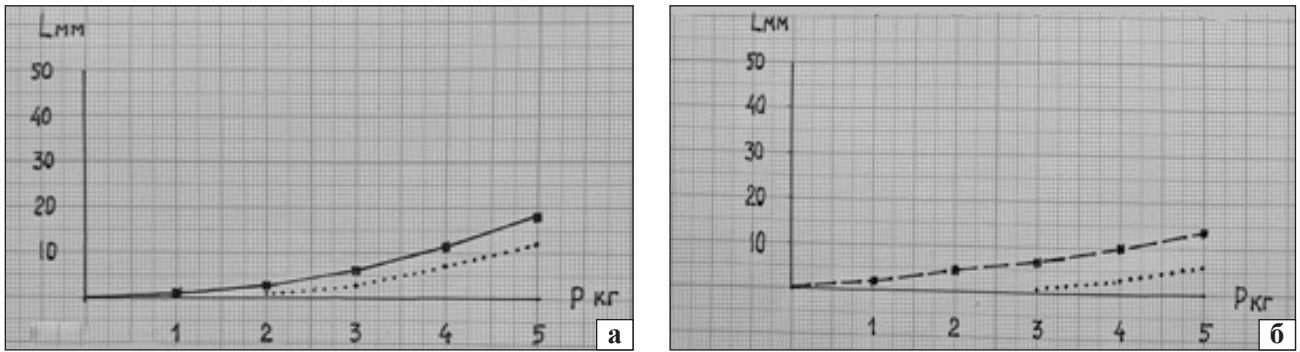


Рис. 6. Графіки, які відображають лінійні переміщення кінців «уламків» під час ступеневого навантаження моделей і застосуванням апаратів «HB ORTHO» (а) і «Orthofix» (б)



Рис. 7. Загальний вигляд деформованої конструкції «уламки – ЗСА» із демонстрацією з'єднувального вузла та стрижня, в яких відбувається залишкова деформація

Огляд деформованих конструкцій виявив, що залишкова деформація конструкції «уламки – ЗСА» виникала внаслідок провертання затискачів на циліндричній зовнішній опорі, які розташовані поблизу перелому, а також за рахунок пластичної деформації стрижнів у цій зоні (рис. 7).

Щоб запобігти переміщенню затискача зі стрижнем на циліндричній опорі можна скористатися додатковою опорою, яку закріпили на тих самих стрижнях. Ефективність такої конструкції перевірено в експерименті на моделі. Під час застосування в конструкції апарата «HB ORTHO» двох опор, лінійне переміщення «уламка» зменшилося вдвічі (17 мм), як порівняти з конструкцією з однією опорою (33,8 мм). Але головним було те, що за наявності двох точок кріплення кожного стрижня суттєво зменшувалася поява залишкових деформацій — 2 і 22 мм.

Таким чином, отримані результати в наведеній частині експерименту виявили, що найбільш вразливою до деформування є конструкція, в якій усі стрижні розташовані у фронтальній площині і зовнішня опора знаходиться на відстані 100 мм від кістки. Експеримент дозволив виявити ключову

зону деформування конструкції — стрижень із затискачем, що знаходиться в проксимальному «уламку» поблизу перелому (рис. 7). Є припущення, що це спричиняється крутним моментом сили на важелі стрижня. Чим більше важіль, тим більше сила, яка деформує. Протидіяти крутному моменту можна змінивши розташування указанного стрижня таким чином, щоб вектор деформуючої сили співпадав із його віссю. Ідеальним варіантом було би завести його в сагітальну площину, в якій діє деформуюча сила. Але враховуючи те, що за фіксації уламків стегнової кістки це не бажано, можна скористатися компромісним варіантом, завести його в площині, яка розташована під кутом 45° до сагітальної і фронтальної площин. Експеримент показав, що за такої побудови геометрії конструкції «уламки – ЗСА» переміщення зменшується вдвічі на відміну від конструкції, коли усі стрижні розташовані у фронтальній площині (рис. 8).

На рис. 9 наведено графіки, які відображають величину переміщення дистального «уламка» під час ступеневого навантаження залежно від довжини ділянки кістки, яка знаходиться між крайніми стрижнями кожного із фрагментів (параметри указані в пунктах 5 і 9 таблиці). Видно, що він переміщується не лінійно, відстань між фрагментами починає зростати в разі навантаження 4 і 5 кг. Зі зменшенням відстані між стрижнями в кожному із «уламків» на одну третину (від 150 до 100 мм) величина переміщення за максимального навантаження зростала на 64 % (відповідно 14 і 23 мм).

Додатково ми провели математичні розрахунки величини та напрямків сил, які виникають у місцях кріплення стрижнів до зовнішньої опори та в зоні їхнього контакту з кісткою за умов дії зовнішньої сили в сагітальній площині (відповідно до умов експерименту). Обрано 4 варіанти,



коли «уламки» з'єднані апаратом «Orthofix» із застосуванням по два стрижні в кожний «уламок», відстань між стрижнями 150 або 100 мм, а відстань від «уламка» до зовнішньої опори 100 або 50 мм (п/н 5, 7, 9, 11 табл. 1).

Спочатку визначимо величини сил у стрижнях в місці їх контакту з дистальним «уламком». Для цього подамо його, як балку на двох опорах, де функцію опор виконують стрижні (рис. 10).

Для визначення опорних реакцій вважають, що тіло знаходиться в статичному положенні (без переміщення, у стані рівноваги), і водночас сума всіх сил і моментів сил, які діють на тіло дорівнює нулю. Таким чином:

$$R1 = \frac{P \cdot (H1 + H2)}{H2}, \quad (1)$$

$$R2 = - \frac{P \cdot H1}{H2}. \quad (2)$$

Під час перенесення цих навантажень на зовнішню опору в місця розташування затискувачів ми маємо окрім дії згинаючих сил  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ ,  $R4$  у сагітальній площині, і ще й появу додаткової,

яка скручує зовнішню опору. Цей крутний момент визначаємо за формулою (3):

$$MR = L \cdot R, \quad (3)$$

де  $L$  — відстань між дистальним «уламком» та зовнішньою опорою (довжина стрижня),  $R$  — навантаження на стрижень у місці його контакту з дистальним уламком.

Тепер ми можемо розрахувати величини напружень, які виникають у зовнішній опорі в місцях кріплення стрижнів (рис. 11).

Аналогічно знайдемо реакції опори  $R3$  та  $R4$ .

$$R3 = \frac{R1 \cdot (H1 + H2 + H3 + H4) - R2 \cdot (H3 + H4)}{H4}. \quad (4)$$

$$R4 = \frac{R1 \cdot (H2 + H3) - R2 \cdot H3}{H4}. \quad (5)$$

На підставі формул і фактичних геометричних розмірів розраховуємо всі сили та крутні моменти, які діють на зовнішню опору в місцях кріплення стрижнів за дії зовнішнього навантаження 5 кг (табл. 2).

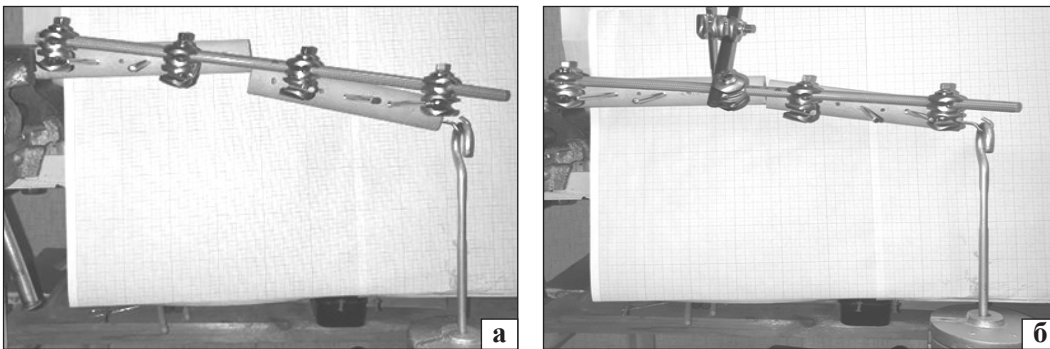


Рис. 8. Величина переміщення дистального «уламка» за максимального навантаження моделі зі застосуванням апарата «Orthofix» за умов розташування усіх стрижнів у фронтальній площині (а) і під час заведення одного стрижня, що в проксимальному уламку в площині, яка під  $45^\circ$  до фронтальної (б) (параметри конструкції 9, 14 в таблиці 1)

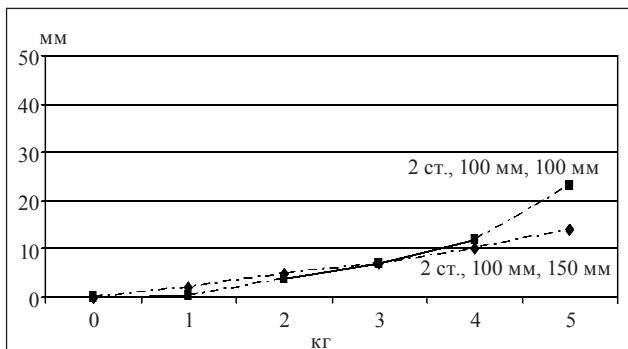


Рис. 9. Графіки переміщення дистального «уламка» під час ступеневого навантаження моделі з використанням апарата «Orthofix» за умов відстані між крайніми стрижнями 150 та 100 мм за однакових інших параметрів (пункти 5 і 9 таблиці 1)

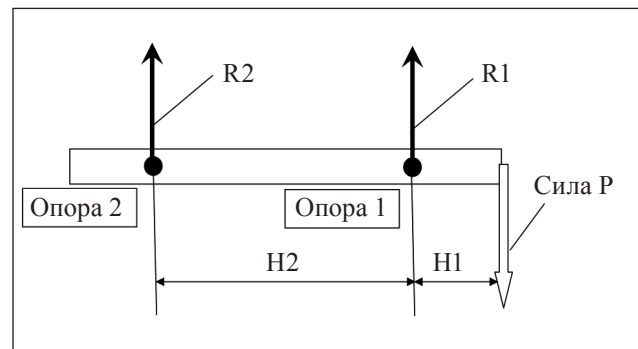


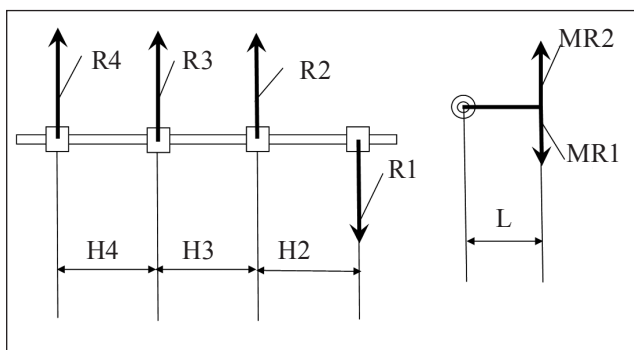
Рис. 10. Схема для розрахунку реакцій опор для дистального уламка, де  $P$  — сила, з якою навантажується конструкція,  $R1$  та  $R2$  — реакції опор,  $H1$  — відстань від місця прикладання навантаження до 1 опори (1 стрижня),  $H2$  — відстань між опорами (стрижнями)

Маючи всі сили та моменти сил, які діють на зовнішню опору ми можемо побудувати епюри, які характеризують розподіл напруження на різних її ділянках (рис. 12).

Отримані цифрові дані виявили такі закономірності:

1) у разі дії поперечно направленої сили на кінець дистального «уламка» в моделі конструкції «уламки – ЗСА» найбільший рівень навантажень виникає на зовнішній опорі, безпосередньо у вузлах з'єднання стрижнів із нею. Наприклад, для варіанта за номером 5: якщо на місці з'єднання стрижня 1 з кісткою діє лише сила 56,9 Н, яка розташована в сагітальній площині та виникає момент, який вигинає уламок, то в місці його з'єднання із зовнішньою опорою до цих зусиль додається ще і крутний момент 5,7 Н\*м;

2) навантаження по зовнішній опорі розподіляється не рівномірно (розглянемо на прикладі № 11 з/п в табл. 1):

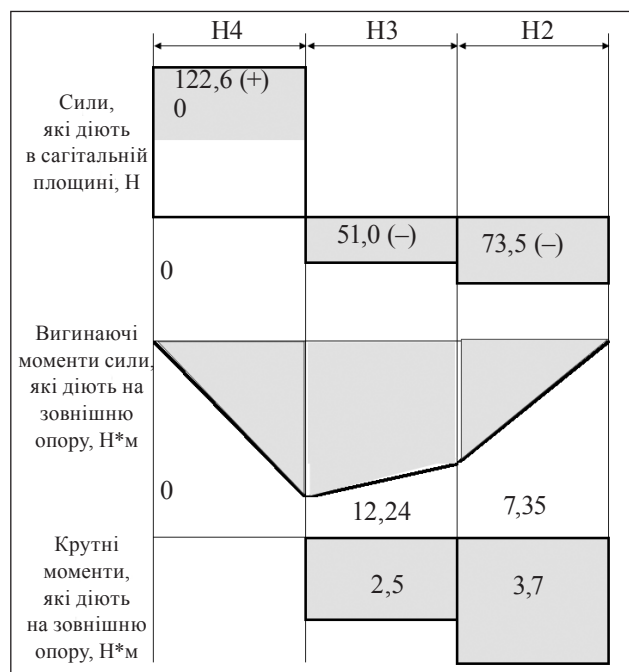


**Рис. 11.** Схема для розрахунку сил, які діють у зовнішній опорі в місцях з'єднання її зі стрижнями, де R1 та R2 — сили, які діють на стрижні; R3, R4 — реакції в опорах, які передаються на проксимальний уламок, MR1 та MR2 — крутні моменти; H2 — відстань між стрижнями на дистальному «уламку», H3 — відстань між другим і третім стрижнями, що наближені до «перелому», H4 — відстань між стрижнями на проксимальному «уламку».

– найбільше в сагітальній площині знаходиться в місці контакту 3 стрижня зі зовнішньою опорою (122,6 Н), а найменше — зона розташування 2 стрижня (7,8 Н). Інші зони мають проміжне навантаження (1 стрижень — 56,9 Н, 4 стрижень — 73,5 Н);

– навантаження в сагітальній площині створює напруження в зовнішній опорі, яке приводить до її вигину. Напруження, яке вигинає зовнішню опору, розподіляється наступним чином: від 1 стрижня збільшується до 7,35 Н\*м (у зоні 2 стрижня), від 2 стрижня продовжує зростати, але менш активно і досягає 12,24 Н\*м в зоні 3 стрижня, а після цього зменшується до 0;

– також має місце ще і крутний момент, який між 1 та 2 стрижнями досягає 3,7 Н\*м, потім між 2 та 3 стрижнями зменшується до 2,5 Н\*м, після



**Рис. 12.** Епюри навантаження зовнішньої опори

Таблиця 2

**Розрахунок всіх сил і крутних моментів, які діють на зовнішню опору в місцях кріплення стрижнів для конструкцій з двома стрижнями в уламках**

№ з/п у табл. 1	Геометричний параметр конструкції, мм					Величина всіх сил і крутних моментів за максимального навантаження (5 кг)						
	Відстань від місця навантаження до першого стрижня, Н1	Відстань між першим та другим стрижнями Н2, Н4	Відстань між другим та третім стрижнями (зона «перелому»), Н3	Відстань між третім та четвертим стрижнями, Н4	Довжина стрижня (відстань між уламками між стрижнями та зовнішньою опорою) L	R1, (Н)	MR1, (Н*м)	R2, (Н)	MR2, (Н*м)	R3, (Н)	MR3, (Н*м)	R4, (Н)
5	25	150	50	150	100	56,9	5,70	7,8	0,8	122,6	5,0	73,5
7	25	150	50	150	50	56,9	2,85	7,8	0,4	122,6	2,5	73,5
9	50	100	100	100	100	73,5	7,30	24,5	2,5	171,6	5,0	122,6
11	50	100	100	100	50	73,5	3,65	24,5	1,2	171,6	2,5	122,6

3 стрижня дорівнює 0 (за умови можливості 3 стрижня повністю поглинути весь крутний момент). Слід зазначити, що на ділянках між 1–2 та 3–4 стрижнями крутний момент поглинається конструкціями «уламок – ЗСА», які поєднані стрижнями, а на ділянці між 2–3 стрижнями це навантаження сприймається лише центральною ділянкою зовнішньої опори. Тому найбільш навантаженою є зона опори зі затискачами між 2 та 3 стрижнями, що пояснює появу деформацій на моделі 3 стрижня у вигляді пластичного прогину та прокручування затискача на опорі;

3) існує пряма залежність між довжиною стрижня (L) та діючим крутним моментом. Якщо зменшити вдвічі довжину стрижня (зі 100 до 50 мм), то крутний момент, який діє на зовнішній стрижень, зменшиться вдвічі (з 5,7 до 2,85 Н\*м).

## Висновки

У разі з'єднання «уламків» зовнішніми стрижневими апаратами утворюється конструкція, яка під час дії поперечного навантаження 1–5 кг на дистальний «уламок», переміщається по ширині і під кутом. Водночас величина лінійного переміщення кінця дистального «уламка», що поблизу перелому відбувається в межах 1–41,7 мм, залежно від геометрії утворюваної конструкції «уламки – апарат».

Першим за значущістю параметром, який впливає на величину переміщення дистального «уламка» є відстань від кістки до опори. За відстані 50 мм величина переміщення уламка в 2–4 рази менша, як порівняти зі 100 мм.

Другим є довжина ділянки кістки, яка знаходиться між крайніми стрижнями загвинченими в уламок. Зі зменшенням її на 30 % величина переміщення збільшується на 64 % і майже не залежить від того було заведено 2 чи 3 стрижні.

За ступеневого поперечного навантаження деформація конструкції на початкових етапах (1, 2, 3 кг) має пружний характер і зі збільшенням (до 4–5 кг) виникає залишкова деформація, яка пов'язана з переміщенням затискача на циліндричній опорі або пластичною деформацією стрижнів, яка була притаманна апаратам «НВ ORTHO» (Україна).

## Рекомендації

Закономірності, які ми виявили експериментально та шляхом математичних розрахунків, можуть бути використані для удосконалення апаратів зовнішньої фіксації та методик з'єднання уламків ними.

1. За з'єднання уламків зовнішніми стрижневими апаратами «НВ ORTHO» і «Orthofix», у випадках, коли зовнішня опора розташована на відстані 100 мм від кістки і більше, існує ризик їхнього повторного зміщення, і щоб його зменшити необхідно володіти наданою інформацією та навчитися передбачати небезпечні ситуації під час виконання рухів постраждалими. Методика лікування має включати навчання хворого процедурі переходу з горизонтального положення у вертикальне і навпаки та «правильній» ходьбі з милицями.

2. Під час виконання операції з'єднання уламків зовнішнім стрижневим апаратом за діафізарного перелому слід дотримуватися наступних принципів:

- у кожній із уламків загвинчувати стрижні на максимально допустимій відстані один від другого (у межах діафізу);

- розташовувати зовнішню опору наскільки це можливо ближче до поверхні сегмента. Раціональною є відстань 1–3 см;

- у разі перелому кісток у середній частині діафізу доцільно користуватися двома стрижнями в кожній із уламків;

- використовувати двоплощинне заведення стрижнів за наявності короткого уламка та значного шару м'яких тканин.

Виробнику апарата «НВ ORTHO» необхідно звернути увагу на недоліки конструкції, які виявлені в результаті дослідження й удосконалити пристрій і його комплектацію.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Можна очікувати, що запропонована методика дослідження переміщення уламків буде використана для оцінювання властивостей інших фіксуючих пристроїв, призначених для лікування переломів.

**Інформація про фінансування.** Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від виробників пристроїв, які були залучені до нашого дослідження.

**Внесок авторів.** Попсуйшاپка О. К. — обґрунтував доцільність дослідження, розробив його методику, провів дослідження, проаналізував результати, написав 70 % тексту статті. Суббота І. А. — провів дослідження, виконав математичні розрахунки, написав відповідну частину тексту.

## Список літератури

1. Betz, G. V. (2002). Study of the rigidity of fixation of bone fragments by extrafocal rod devices. *Orthopedics, trauma-tology and prosthetics*, 4, 90–92. (in russian)
2. Bilinsky, P. I., Chaplinsky, V. P., & Andreychyn, V. A. (2013). Comparative theoretical analysis of biomechanical aspects of osteosynthesis in case of a transverse fracture of the tibial bone with contact and low-contact plates (First message). *Trauma*, 14(2), 63–71. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.14.2013.88593>. (in russian)
3. Popsuyshapka, A. K., Borovyk, I. M. (2007). Properties

- of the biomechanical construction "fragments of the femur - external fixation device" and features of periosteal regeneration when it is used in children. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, 1, 44–50. (in russian)
4. Popsuyshapka, A. K., Litvyshko, V. A., & Borovyk, I. N. (2008). Osteosynthesis: definition, terminology, classification, direction of research. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, 3, 98–101. (in russian)
  5. Popsuyshapka, A. K., Litvyshko, V. A., Ashukina, N. A., & Yakovenko, S. M. (2016). Movement of fragments during the treatment of diaphyseal fractures and their significance for the regeneration process. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, 2 (603), 31–39. <https://doi.org/10.15674/0030-59872016231-40> (in Ukrainian)
  6. Fernando, P. L. N., Aravinda Abeygunawardane, Pci Wijesinghe, Parakrama Dharmaratne, & Pujitha Silvaa. (2021). An engineering review of external fixators. *Medical Engineering & Physics*, 98, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2021.11.002>
  7. Korzh, M. O., Popsuyshapka, O. K., Litvyshko, V. O., Shevchenko, I. V., Doluda, Y. A., Gubskiy, S. S., Hrytsenko, A. M., Mikhanovskiy, D. O., Marushchak, O. P., Tokhtamyshev, M. O., & Harutyunyan, Z. A. (2023). Problematic issues of treatment of gunshot fractures of the diaphysis of the long bones of the limbs. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, 4, 109–120. <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720234> (in Ukrainian)
  8. <https://www.galaxyfixation.com/orthofix-galaxy-fixation/>
  9. Nayagam, S. (2007). Safe corridors in external fixation: The lower leg (tibia, fibula, hindfoot and forefoot). *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 2(2–3), 105–110. <https://doi.org/10.1007/s11751-007-0023-7>
  10. Abdul Wahab, A. H., Wui, N. B., Abdul Kadir, M. R., & Ramlee, M. H. (2020). Biomechanical evaluation of three different configurations of external fixators for treating distal third tibia fracture: Finite element analysis in axial, bending and torsion load. *Computers in Biology and Medicine*, 127, 104062. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.104062>
  11. Kenwright, J., & Gardner, T. (1998). Mechanical influences on tibial fracture healing. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 355S, S179–S190. <https://doi.org/10.1097/00003086-199810001-00019>
  12. Abd Aziz, A. U., Abdul Wahab, A. H., Abdul Rahim, R. A., Abdul Kadir, M. R., & Ramlee, M. H. (2020). A finite element study: finding the best configuration between unilateral, hybrid, and ilizarov in terms of biomechanical point of view. *Injury*, 51, 2474–2478. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.08.001>
  13. Giotakis, N., & Narayan, B. (2007). Stability with unilateral external fixation in the tibia. *Strategies in trauma and limb reconstruction*, 2, 13–20. <https://doi.org/10.1007/s11751-007-0011-y>
  14. Elmedin, M., Vahid, A., Nedim, P., & Nedzad, R. (2015). Finite element analysis and experimental testing of stiffness of the sarafix external fixator. *Procedia Eng.*, 100, 1598–1607. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.533>
  15. Martins Amaro, A., Fatima Paulino, M., Manuel Roseiro, L., & Augusta Neto, M. (2020). The effect of external fixator configurations on the dynamic compression load: an experimental and numerical study. *Appl Sci.*, 10, 3. <https://doi.org/10.3390/app10010003>

Стаття надійшла до редакції 19.11.2024	Отримано після рецензування 28.12.2024	Прийнято до друку 05.01.2025
---	---	---------------------------------

## FEATURES OF DEFORMATION OF THE «DEBRIS – EXTERNAL CORE APPARATUS» MODEL IN THE CASE OF USING STRUCTURES WITH DIFFERENT STRUCTURAL GEOMETRY

O. K. Popsuishapka<sup>1,2</sup>, I. A. Subbota<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> National Medical University, Kharkiv, Ukraine

✉ Olexii Popsuishapka, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: alexecorn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-003-1893-2511>

✉ Igor Subbota: gs1971@ukr.net



УДК 618.5:[616.727.2:616.747]:616.8-009.11](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025175-81>

## Математичне моделювання роботи м'язів, відповідальних за згинання плечового суглоба у разі верхнього акушерського параліча

О. Д. Карпінська, А. М. Гриценко

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

*Objective.* To determine the degree of change in muscle length and torque of the shoulder joint during flexion in conditions of the pathological position of the upper limb in Erb-Duchenne syndrome. *Methods.* The analysis of the change in muscle length and torque of the shoulder joint was performed at flexion within 50°–60°. In the Erb syndrome clinic, the torque value of the joint is reduced due to weakness or paralysis of the muscles that provide stability and mobility of the shoulder joint. Verification of the appearance of the model was carried out according to the 3D-model obtained from the CT scan of the patient. *Results.* After analyzing the work of the muscles responsible for the flexion of the shoulder joint, it was determined that a decrease in muscle strength leads to a decrease in the moment of force acting on the joint, a change in the length of the force lever affects the moment of force, a change in the angle between the force and the arm of the force leads to a decrease in the muscle's efficiency. Internal rotation of the humerus reduces the length of the muscle, which is demonstrated in the models. When lifting the arm with a load, the muscle shortens and its length decreases accordingly. Other muscles not represented in the model do not contribute to the generation of torque of the shoulder joint due to their lack of direct connection to the humerus, but they are responsible for the movement of the scapula and clavicle. A decrease in their strength, a change in the direction of the force vector leads to significant changes in the ratio of the anatomical structures of the shoulder girdle with high individual variability. *Conclusions.* A change in the direction of the force vector of a muscle and its length during bending lead to changes in motor activity: a decrease in the moment of the joint leads to a limitation of the amplitude of movements in the joint, the balance between different muscles acting on the joint is disturbed, it can lead to its instability and deformats. Biomechanical changes limit the functionality of the joint and cause pain syndrome. The identified biomechanical changes indicate the need to correct the specified pathological conditions. *Key words.* Obstetric brachial plexus palsy, Erb-Duchenne syndrome, shoulder joint, joint moment, muscle strength, modeling.

*Мета.* Визначити ступінь зміни довжини м'язів та крутного моменту плечового суглоба під час згинання в умовах патологічного положення верхньої кінцівки в разі синдрому Ерба-Дюшена. *Методи.* Проаналізували зміни довжини м'язів і крутного моменту плечового суглоба за флексії в межах 50°–60°. За умов синдрому Ерба величина крутного моменту суглоба знижується через слабкість або параліч м'язів, які забезпечують стабільність і рухливість плечового суглоба. Верифікацію вигляду моделі проводили відповідно до 3D-моделі, яку отримали з КТ пацієнта. *Результати.* Розглянувши роботу м'язів, відповідальних за флексію плечового суглоба визначили, що зменшення сили м'яза призводить до зниження моменту сили, яка діє на суглоб, зміна довжини важеля сили впливає на момент сили, зміна кута між силою і плечем сили спричинює зменшення ефективності м'яза. Внутрішня ротація плечової кістки зменшує довжину м'яза, що продемонстровано на моделях. У разі згинання плечового суглоба довжина м'яза зменшується, причому в базовій і деформованій моделях однаково, хоча початкова довжина м'яза деформованої моделі менше, ніж у базовій. Інші м'язи, які не наведені в моделі, не впливають на створення крутного моменту плечового суглоба через відсутність їхнього прямого з'єднання з плечовою кісткою, але вони відповідають за рух лопатки та ключиці. Зменшення їхньої сили, зміна напрямку вектора дії сили призводить до значних змін співвідношення анатомічних структур плечового поясу з високою індивідуальною варіабельністю. *Висновки.* Зміни напрямку вектора дії сили м'яза та його довжини під час згинання спричинюють зміни в руховій активності: зменшення моменту суглоба спричинює обмеження амплітуди рухів у суглобі, порушується баланс між різними м'язами, які діють на суглоб, може призвести до його нестабільності та деформації. Біомеханічні зміни обмежують функціональність суглоба й обумовлюють больовий синдром. Виявлені біомеханічні зміни свідчать про необхідність корекції означених патологічних станів.

**Ключові слова.** Акушерський параліч, синдром Дюшена-Ерба, плечовий суглоб, момент суглоба, сила м'яза, моделювання

## Вступ

Акушерський параліч плечового сплетення виникає здебільшого внаслідок ушкодження нервів у плечовій зоні під час важких вагінальних пологів через надмірні зусилля, прикладені до плеча, які спричинюють його розтягнення [1, 2]. Спостерігається приблизно в 1–4 випадках на 1 000 новонароджених. Анатомічно зустрічається з обох боків, але частіш — справа.

За рівнем ураження розрізняють три основні типи:

– верхній (параліч Дюшена-Ерба), коли травмуються корінці  $C_V$ – $C_{VI}$ . Характерними проявами синдрому є приведена та ротована всередину рука, «поза руки офіціанта», порушені відведення і зовнішня ротація плеча, обмежене згинання передпліччя;

– середній (параліч Ремака) — ушкоджені корінці  $C_{VII}$ , характеризується порушенням розгинання передпліччя, розгинання кисті та пальців. Часто може поєднуватися з попереднім типом;

– тотальний (параліч Дежерін-Клюмпке) — уражуються корінці  $C_V$ – $C_{VIII}$ . Ознаками є повний параліч всієї руки, «звисаюча рука». За ушкодження  $T_1$  може виникнути синдром Горнера (птоз, міоз, енофтальм).

У цій роботі ми розглядаємо синдром Ерба-Дюшена. Точка Ерба — місце у верхньому стовбурі плечового сплетення, розташоване на 2–3 см вище ключиці [3], утворюється об'єднанням корінців  $C_V$  і  $C_{VI}$ , які пізніше зближуються. Ураження пахвових, шкірно-м'язового та надлопаткового нервів призводить до порушення нервового передавання та м'язової атрофії і, як наслідок — до клінічних проявів синдрому Ерба [4].

Хірургічне втручання в ранньому віці (до року) підвищує шанси на часткове або навіть повне відновлення функцій кінцівки. Проте, навіть у разі успішної реконструкції, пацієнти можуть мати деякі залишкові порушення рухів, а також потребувати довготривалої реабілітації [5].

На жаль, у медичній практиці зустрічаються випадки, коли консервативне лікування синдрому паралічу плечового сплетення не дало бажаного результату, а раннє хірургічне втручання не було виконано. Перебіг захворювання впродовж 4–10 років призводить не лише до прогресування м'язового дисбалансу, а й до деформації кісток верхньої кінцівки зі залученням головки плечової кістки, часто в супроводі з її підвихом або вивихом. Зміни в анатомічних співвідношеннях компонентів плечового суглоба спричинюють

порушення як довжини м'язів, так і вектора їхньої дії, що, у свою чергу, призводить до розладу рухів верхньої кінцівки.

Головною метою лікування пацієнтів із тривалим перебігом синдрому Ерба є відновлення руху «рука – рот», тобто забезпечення основних умов для самообслуговування. Саме здатність виконання означених дій дозволяє хворому не лише самостійно приймати їжу, а й виконувати більшість повсякденних вправ [6].

*Мета:* визначити ступінь зміни довжини м'язів і величини їхнього крутного моменту в плечовому суглобі за згинання в умовах патологічного положення верхньої кінцівки в разі синдрому Ерба-Дюшена.

## Матеріал і методи

Специфікою синдрому Ерба є величина крутного моменту суглоба, яка знижується через слабкість або параліч м'язів, які забезпечують стабільність і рухливість плечового суглоба. Зокрема, зменшений крутний момент впливає на здатність дитини до абдукції та зовнішньої ротації плеча, що обмежує функціональність руки. Крутний момент суглоба визначається силою м'язів, довжиною плеча (перпендикуляр від лінії дії сили до осі обертання) та напрямком дії сили [7, 8].

Найбільшу силу м'яз здатний розвинути тоді, коли його волокна розтягнуті до оптимальної довжини (індивідуальна для кожного). Ураховуючи те, що довжина важеля (кісток суглоба) не змінюється, на крутний момент буде впливати лише сила м'яза та кут її дії. У разі тривалого перебігу стану дисбалансу м'язів суглоба, а саме послаблення тих, що відводять плече назад, і збереження сили м'язів з боку ключиці, змінюється напрямок дії вектора сили м'язів усієї верхньої кінцівки. Це призводить до зміни крутного моменту суглоба і напрямку руху кінцівки. Патологічне положення плеча, як то притиснення до тулубу, спричинює зменшення довжини м'язів, відповідальних за його відведення, що заважає повноцінному згинанню суглобів руки, навіть у разі неуходження іннервації керувальних м'язів.

В основу роботи покладено модель DAS-3, яка є частиною проекту Dynamic Arm Simulator для моделювання в режимі реального часу опорно-рухового апарата плеча та руки. Основні параметри базової моделі та математичні основи викладено E. Chadwick і співавт. [9].

Модель складається з 138 м'язів і 6 суглобів: надплечово-ключичного, грудинно-ключичного, плечового, плечо-ліктьового, плечо-променевого та променево-зап'ясткового (рис. 1, а).

У модифікованій моделі проведено зміну розташування головки плечової кістки в суглобі назовні на  $45^\circ$ , та підйом кісток надпліччя, що призвело до відповідної зміни розташування всього плечового зчленування (рис. 1, б, в) та ротації ліктьового суглоба назовні. Згинання зап'ястка виконано на  $30^\circ$ , рука притиснута до тулуба, внутрішньоротова в плечовому суглобі, передпліччя проноване, а ліктьовий суглоб розігнутий. Зменшено розмір лопатки на 20 %. Верифікацію вигляду моделі проводили відповідно 3D-моделі, яка отримана за допомогою КТ-дослідження пацієнта (рис. 2).

Аналіз зміни довжини м'язів і крутного моменту плечового суглоба здійснювали за флексії в межах  $50^\circ$ – $60^\circ$ .

## Результати

Плечовий суглоб (*articulatio humeri*) — найрухливіше зчленування кісток. Його анатомічна будова дозволяє верхній кінцівці робити широкий

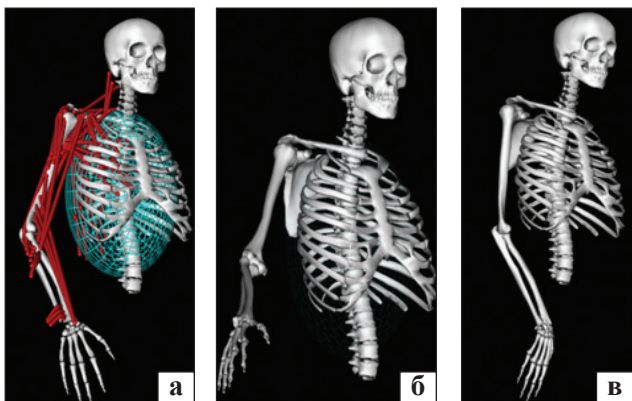


Рис. 1. Модель DAS-3: базові моделі з м'язами й елементами контактної геометрії (а) та без м'язів (стандартне розташування суглобів) (б); в) модифікована модель згідно з описом розташування суглобів плечового поясу за синдрому Дюшена-Ерба

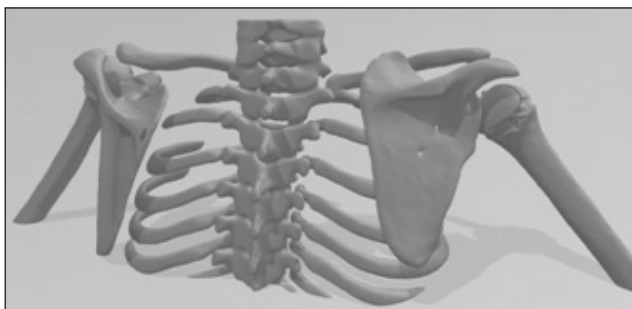


Рис. 2. 3D-зображення, отримане з КТ пацієнта

спектр рухів — зовнішня та внутрішня ротація, згинання, розгинання, відведення та приведення руки. За допомогою суглоба виконуються різноманітні дії верхньою кінцівкою. Найголовнішим рухом, який забезпечує можливість самообслуговування є здатність доносити долоню до рота. Розглянемо роботу м'язів, відповідальних за нього.

Дельтоподібний м'яз (*m. deltoideus*) — передня частина піднімає руку вперед (флексія в плечовому суглобі). Він розташований в зоні акроміального, ключичного і лопаткового відділів хребта. Його акроміальна частина (середні волокна) відводить руку, тоді як ключичні та лопаткові відіграють значну роль у стабілізації, забезпечуючи стійку площину відведення. Ключична частина може діяти як згинач і внутрішній ротатор верхньої кінцівки, тоді як лопаткова (задні волокна) може розгинати й обертати руку назовні.

У моделі дельтоподібний м'яз поданий групами м'язів — *deltoid\_clavicle* (4 волокна) та *deltoid\_scapula* (11 волокон). Розглянемо крайні волокна переднього та заднього відділів м'яза в базовій (N) та деформованій (D) моделях (рис. 3, в).

У результаті аналізу роботи переднього відділу м'яза показано, що в нормі за згинання в плечовому суглобі найсуттєвіше збільшується довжина волокон, які розташовані дорсально (*N\_delt\_clav 4*), тобто в разі підйому плеча м'яз проходить довший шлях, ніж його вентральна частина (*N\_delt-clav 1*) (рис. 3, а). У деформованій моделі спостерігаємо зовсім іншу картину, а саме: внутрішня ротація плечового суглоба і медіальне приведення плечової кістки призводять до більшого розтягування дорсальної частини (*D\_delt\_clav 1*), ніж передньої (*D\_delt\_clav 4*) (рис. 3, а). Зміна довжини м'яза в деформованій моделі менше, ніж у базовій.

Дорсальні та вентральні волокна задньої частини *m. deltoideus* (рис. 3, б) під час згинання плечового суглоба мають протилежний напрямок зміни довжини, який зберігається за деформації моделі. Але в останній дорсальні волокна менше розтягуються, ніж у нормальній через зменшений розмір лопатки, тобто внаслідок скорочення самої довжини м'яза. Передні волокна задньої частини *m. deltoideus* мало змінюють свою довжину через центральніше розташування.

Двоголовий м'яз плеча (*m. biceps brachii*) допомагає підняти руку та виконує супінацію передпліччя. Складається з короткої і довгої головок. Довга головка розташована на латеральній стороні двоголового м'яза плеча, а коротка — на медіальній. Двоголовий м'яз плеча здатний генерувати рухи в плечовому та ліктьовому суглобах.



За виконання руху «рука – рот» *m. biceps brachii* керує одночасно плечовим і ліктьовим суглобами, водночас довжина обох головок м'яза зменшується, тобто під час здійснення руху м'яз скорочується. У нормі за згинання плечового суглоба довга головка *m. biceps brachii long head* практично не змінює своєї довжини. Треба відмітити, що таке відбувається в разі підйому руки без навантаження, а з ним відбувається скорочення м'яза і зменшення його довжини. Таку ситуацію ми не розглядаємо.

У деформованій моделі можна спостерігати паралельну траєкторію зменшення точок кріплення обох головок м'яза, це пов'язано з тим, що за внутрішньої ротації плечового суглоба (рис. 4, а) довга головка м'яза, яка бере початок саме на голові плечової кістки, ругується в середнє положення, тобто стає паралельно короткій, і ступінь скорочення залежить лише від початкової довжини м'язів.

За згинання ліктьового суглоба (рис. 4, б) траєкторії зменшення довжини м'яза паралельні, але в деформованій моделі вони зближуються, із причини, яка вже вказана.

Великий грудний м'яз (*m. pectoralis major*) відповідає за флексію й аддукцію руки і є найбільшим поверхневим м'язом передньої грудної стінки. Має 2 головки — ключичну та грудинно-реберну. У моделі він наведений двома групами м'язів *m. pectoralis major\_clavicle* (2 волокна) та *m. pectoralis major\_terez* (6 волокон) (рис. 5, в). Аналізуємо крайні волокна м'яза грудинно-реберної частини й обидва волокна ключичної.

Зміни довжини волокон ключичної головки *m. pectoralis major* відбуваються односпрямовано через їхнє паралельне розташування, що відображено на графіку (рис. 5, а). Зафіксовано зменшення довжини волокон під час функції згинання в плечовому суглобі. Аналогічно змінюється довжина відповідних м'язів і в деформованій моделі.

Характер зміни довжини грудинно-реберної частини *m. pectoralis major* у базовій і деформованій моделях однаковий (рис. 5, б). Волокна, які розташовані каудально за елевації плеча збільшуються, а в коронарній навпаки — зменшуються. У деформованій моделі процес змін довжини м'язів аналогічний, але вони помітно менші.

Зазначено, що *m. pectoralis major* іннервується корінцями  $T_1-T_{11}$ , і не травмується за синдрому Ерба. Його функція зберігається, на відміну від м'язів спини. Саме переважання сили передньої

групи м'язів призводить до внутрішньої ротації й аддукції плечової кістки.

Дзьобоплечовий м'яз (*m. coracobrachialis*) бере участь у згинанні й аддукції руки. Починається від дзьобоподібного відростка лопатки, розташований на надмедіальній частині плечової кістки. Основна його функція полягає у згинанні та приведенні плечової кістки, сприяє внутрішньому обертанню руки. У моделі поданий трьома паралельно розташованими волокнами (рис. 6, в). Проаналізуємо зміну довжини найдовшого волокна.

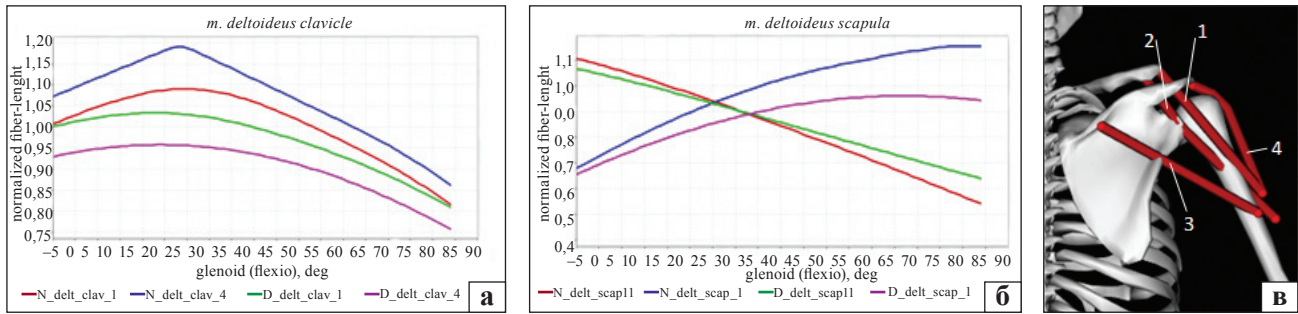
Внутрішня ротація плечової кістки зменшує довжину м'яза, що і продемонстровано на моделях. Під час згинання плечового суглоба довжина м'яза зменшується, причому в базовій і деформованій моделях однаково, хоча її початковий розмір у деформованій моделі менше, ніж у базовій.

Ми розглянули основні м'язи, які забезпечують рухи в плечовому суглобі. Усі вони, крім великого грудного м'яза, іннервуються корінцями  $C_5-C_{V1}$ , тобто змінюють свою функціональність у разі синдрому Дюшена-Ерба. Зменшення іннервації, відповідно до ступеня та місця ушкодження призводить до спаду сили м'язів, іноді до повного паралічу. Тобто, змінюється рухлива здатність суглоба, яка характеризується його крутним моментом, бо впливає сила м'яза, довжина та кут дії вектора його сили за умови збереження довжини кінцівки. Ми не розглядаємо параліч м'язів. У моделі з деформованою плечовою кісткою зменшимо силу м'язів, які іннервують суглоб на 50 %. Звісно, це умовно, бо існує велика варіабельність як зміни сили м'язів, так і кута їхньої дії за ротації суглоба.

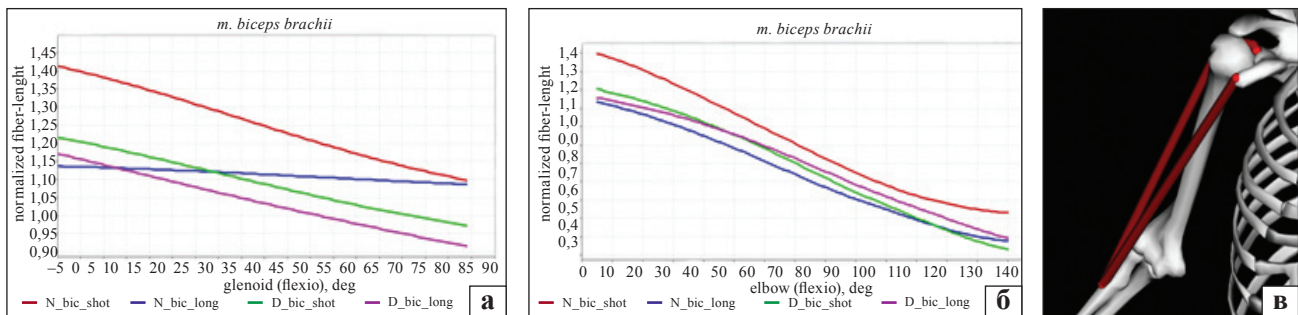
Розглянемо, як впливає зміна сили м'язів і вектора її дії на крутний момент суглоба. Отже, на нього можуть впливати лише м'язи, які проходять через суглоб, або безпосередньо на рух його складових. Проаналізуємо не окремі волокна м'язів, а вплив усього масиву на суглоб.

Як показало моделювання, у деформованій моделі спостерігаємо значне зменшення крутного моменту суглоба. Так цей крутний момент, який створює ключична частина дельтоподібного м'яза, в базовій моделі має характерне збільшення у фазі від  $20^\circ$  до  $30^\circ$ . Зі збільшенням кута згинання плечового суглоба подальший рух перехоплюють м'язи плечової кістки (*m. biceps*), на деформованій моделі спостерігаємо помірне зростання дії дельтоподібного м'яза впродовж усього часу згинання. Крутний момент у деформованій моделі помітно менший, ніж у базовій (рис. 7, а).

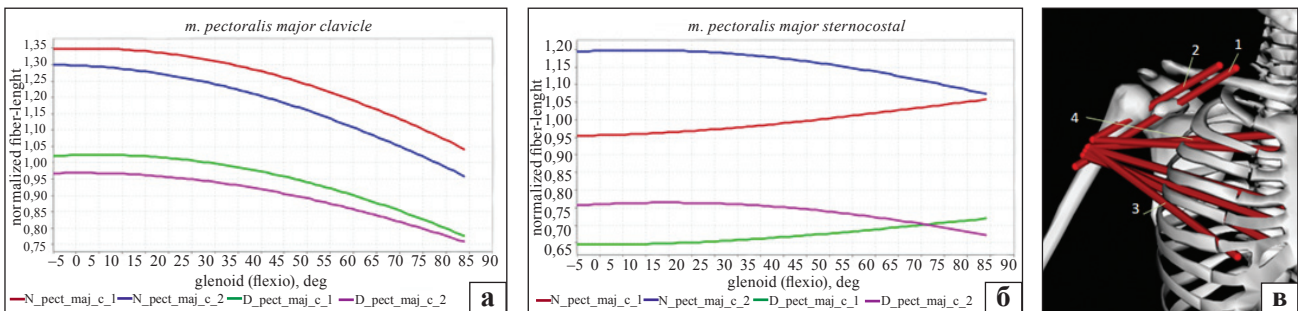




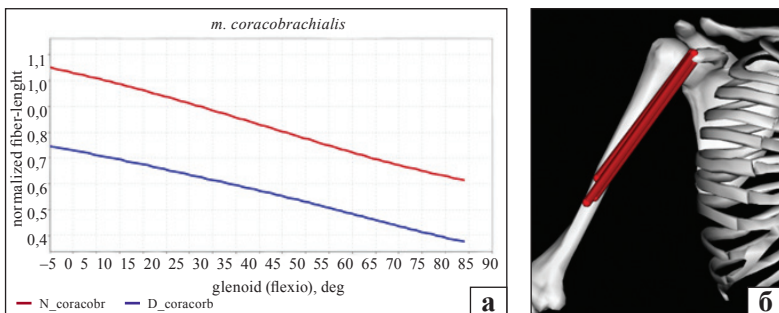
**Рис. 3.** Зміна нормалізованої довжини м'яза *m. deltoideus* під час згинання плечового суглоба: а) переднього відділу; б) заднього відділу; в) волокна м'яза *m. deltoideus*: 1 — *delt\_clav I*; 2 — *delt\_clav 4*; 3 — *delt\_scap I*; 4 — *delt\_scap II*



**Рис. 4.** Зміна нормалізованої довжини м'яза *m. biceps brachii*: а) під час згинання плечового суглоба; б) під час згинання ліктьового суглоба; в) вигляд м'язів у моделі



**Рис. 5.** Зміна нормалізованої довжини *m. pectoralis major* за згинання плечового суглоба: а) ключичної головки м'яза; б) грудино-реберної; в) *m. pectoralis major*: ключична частина 1 — *pect\_maj\_c\_1*; 2 — *pect\_maj\_c\_2*; реберна частина 3 — *pect\_maj\_t\_1*; 4 — *pect\_maj\_t\_6*

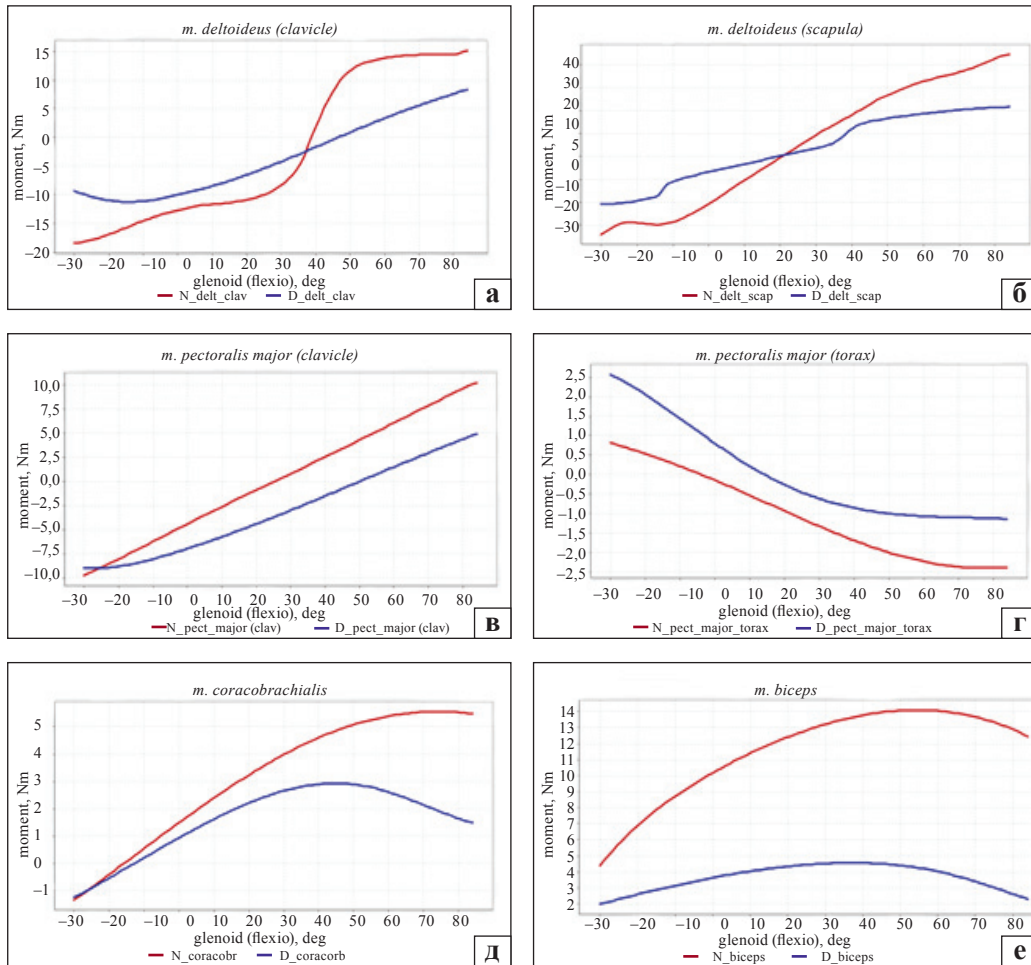


**Рис. 6.** Зміна нормалізованої довжини *m. coracobrachialis* за згинання плечового суглоба: а) у базовій та деформованій моделях; б) *m. coracobrachialis*

Дія лопаткової частини дельтоподібного м'яза на крутний момент плечового суглоба продовжується протягом всієї фази згинання. У деформованій моделі дія лопаткової частини дельтоподібного м'яза практично постійна, але на

початковому етапі перевищує відповідний крутний момент в базовій, що може свідчити про постійне напруження м'яза (рис. 7, б).

Малий грудний м'яз (*m. pectoralis major*) одночасно діє від двох структур суглоба — ключиці



**Рис. 7.** Крутний момент плечового суглоба який створюють м'язи, відповідальні за його згинання: а) *m. deltoideus (clavicle)*; б) *m. deltoideus (scapula)*; в) *m. pectoralis major (clavicle)*; г) *m. pectoralis major (torax)*; д) *m. coracobrachialis*; е) *m. biceps*

(рис. 7, в) і грудини (рис. 7, г). Навіть без зміни сили, у деформованій моделі крутний момент ключичної частини м'яза менший, ніж у базовій. У торакальній, навпаки, він збільшується.

Дзьобоплечовий м'яз (*m. coracobrachialis*) бере активну участь у підйомі плеча. У базовій моделі його силу не змінено. У деформованій зміни призвели до значного зменшення моменту в плечовому суглобі (рис. 11, в) й були більш поступовими, ніж в базовій.

Сила обох головок біцепса зменшена, що призвело до значного спаду моменту, практично до повної відсутності активації м'яза.

Інші м'язи не впливають на створення крутного моменту плечового суглоба через відсутність їхнього прямого з'єднання з плечовою кісткою, але вони відповідають за рух лопатки та ключиці. Зменшення їхньої сили, зміна напрямку вектора дії призводить до значних порушень співвідношення анатомічних структур плечового поясу з високою індивідуальною варіабельністю.

## Висновки

Результати роботи дозволили зробити такі узагальнення: зменшення сили м'яза призводить до зниження моменту сили, яка діє на суглоб. Це означає, що м'яз стає менш ефективним у створенні руху в суглобі. Зміна довжини м'яза внаслідок тривалого обмеження рухливості впливає на крутний момент сили.

Зміна кута дії сили м'яза спричинює порушення нормальної біомеханіки суглоба та може призвести до зменшення ефективності м'яза.

Порушення функції одного м'яза спричинює втрати синергізму — спільної роботи м'язів. Травмування одного може вплинути на роботу інших м'язів, що входять до складу синергічної групи, і додатково знизити крутний момент суглоба.

Наведені дані свідчать про значні зміни в руховій активності суглоба: зменшення крутного моменту веде до обмеження функції (амплітуди) рухів, порушення балансу між різними м'язами, які діють на суглоб, викликає його нестабільність

і деформацію. Біомеханічні зміни обмежують функціональність та обумовлюють больовий синдром. Виявлені біомеханічні зміни свідчать про необхідність корекції означених патологічних станів.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** У перспективі інтерес становлять вивчення можливості ремоделювання гленоїда після виконання оперативних втручань із м'язових транспозицій плечового поясу.

**Інформація про фінансування.** Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

**Внесок авторів.** Карпінська О. Д. — розробка математичної моделі, розрахунок даних, написання тексту; Гриценко А. М. — збір та обробка матеріалів, редагування тексту.

## Список літератури

1. Van der Looven, R., Le Roy, L., Tanghe, E., Samijn, B., Roets, E., Pauwels, N., Deschepper, E., De Muynck, M., Vingerhoets, G., & Van den Broeck, C. (2019). Risk factors for neonatal brachial plexus palsy: A systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 62(6), 673–683. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14381>
2. Jerome, J. T., Leechavengvongs, S., Malungpaishrope, K., & Kuppusamy, T. (2025). Rethinking brachial plexus birth palsy: Beyond physician blame. *Journal of Hand and Microsurgery*, 17(1), 100166. <https://doi.org/10.1016/j.jham.2024.100166>
3. Landers, J. T., & Maino, K. (2012). Clarifying Erb's point as an anatomic landmark in the posterior cervical triangle. *Dermatologic Surgery*, 38(6), 954–957. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.2012.02368.x>
4. Eckstein, K. L., Allgier, A., Evanson, N. K., & Paulson, A. (2020). Brachial plexus birth injuries and the association between pre-procedure and post-procedure pediatric outcomes data collection instrument scores and narakas classification. *Journal of pediatric rehabilitation medicine*, 13(1), 47–55. <https://doi.org/10.3233/prm-190603>
5. Pondaag, W., & Malessy, M. J. (2020). Evidence that nerve surgery improves functional outcome for obstetric brachial plexus injury. *Journal of hand surgery (European Volume)*, 46(3), 229–236. <https://doi.org/10.1177/1753193420934676>
6. Srinivasan, N., Mahajan, J., Gupta, S., Shah, Y. M., Shafei, J., Levidy, M. F., Abdelmalek, G., Pant, K., Jain, K., Zhao, C., Chu, A., & McGrath, A. (2022). Surgical timing in neonatal brachial plexus palsy: A <scp>prisma-ipd</scp> systematic review. *Microsurgery*, 42(4), 381–390. <https://doi.org/10.1002/micr.30871>
7. Shao, Q., Bassett, D. N., Manal, K., & Buchanan, T. S. (2009). An EMG-driven model to estimate muscle forces and joint moments in stroke patients. *Computers in biology and medicine*, 39(12), 1083–1088. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2009.09.002>
8. Tyazhelov, O., Karpinska, O., Rykun, M., & Branitskyi, O. (2024). Effect of changes in the length of the components of the musculotendinous element of the elbow flexor muscles on the isometric force and joint torque. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 48–55. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023448-55>
9. Chadwick, E. K., Blana, D., Kirsch, R. F., & Van den Bogert, A. J. (2014). Real-time simulation of three-dimensional shoulder girdle and arm dynamics. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 61(7), 1947–1956. <https://doi.org/10.1109/tbme.2014.2309727>

Стаття надійшла до редакції 06.11.2024	Отримано після рецензування 23.12.2024	Прийнято до друку 05.01.2025
---	---	---------------------------------

## MATHEMATICAL MODELING OF THE MUSCLES RESPONSIBLE FOR SHOULDER JOINT FLEXION IN UPPER OBSTETRIC PARALYSIS

O. D. Karpinska, A. M. Hrytsenko

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

✉ Olena Karpinska: helenkarpinska@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>

✉ Anastasiia Hrytsenko, MD: hrytsenkosurgery@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4142-1974>

## РЕАБІЛІТАЦІЯ

УДК 616.718.16-001.5-036.82:617.581

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025182-89>**Ефективність хірургічного лікування та реабілітаційних заходів у відновленні пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини****М. Л. Анкін<sup>1</sup>, В. О. Ладика<sup>1</sup>, О. О. Глиняна<sup>2</sup>, М. М. Барилевич<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Національний університет охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика, Київ<sup>2</sup> Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, Київ, Україна

*Fractures of the posterior wall of the acetabulum are one of the most difficult injuries to treat in Orthopedics and traumatology. The most common causes of this fracture are road traffic accidents, falls from heights, and injuries resulting from military actions. There is a high risk of post-traumatic arthritis at later stages and avascular necrosis, often leading to future disability. Objective. to assess the efficiency of surgical treatment and rehabilitation in patients with acetabular posterior wall fracture. Methods. The study was conducted at the Kyiv Regional Clinical Hospital and Kyiv City Clinical Hospital No. 8 from 2021 to 2023. A total of 44 patients aged 19 to 68 participated in the study. Treatment outcomes and rehabilitation measures were assessed using the Matta and Harris Hip Score scales. All patients underwent open reduction and internal fixation of the posterior wall of the acetabulum with plates and screws. The Kocher-Langenbeck surgical approach was used in all cases. Clinical and radiological results were analyzed at 3, 6, and 12 months in all patients. Results. The Harris Hip Score in the main group was  $(81.51 \pm 4.03)$  points at 6 months and  $(87.09 \pm 5.31)$  points at 12 months. In the control group, the scores were  $(75.43 \pm 4.45)$  at 6 months and  $(84.01 \pm 4.17)$  at 12 months ( $p < 0.01$ ). Conclusions. Early closed reduction of hip joint dislocation and surgery with reconstruction of normal joint anatomy and stable fracture fixation is crucial for efficiency of surgical treatment. Keywords. Fracture, rehabilitation, posterior wall of the acetabulum.*

*Перелом задньої стінки кульшової западини є однією з найскладніших травм, з якою стикаються ортопедичні травматологи. Найпоширенішими його причинами є дорожньо-транспортні пригоди, катастрофи й ушкодження внаслідок воєнних дій. Високий ризик розвитку посттравматичного артрозу на віддалених етапах чи аваскулярного некрозу, часто призводить у подальшому до інвалідизації. Мета. Оцінити ефективність хірургічного лікування та реабілітаційних заходів щодо відновлення пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини. Методи. Здійснено проспективний аналіз хворих, яких лікували на базі КНП КОР «Київська обласна клінічна лікарня» та КНП «Київська міська клінічна лікарня № 8» у період з 2021 по 2023 роки. До дослідження було залучено 44 пацієнти, середній вік яких становив  $(42,2 \pm 13,1)$  року. Результати лікування та реабілітаційні заходи оцінювали за шкалами Матта й Харріс Hip Score. Усім хворим виконано оперативне втручання — остеосинтез задньої стінки кульшової западини пластинами та гвинтами. Хірургічний доступ Кохера-Лангенбека використовувався у всіх випадках. Проаналізовано клініко-рентгенологічні результати через 3, 6 і 12 місяців. Результати. Показники, отримані за шкалою Harris Hip Score через 6 міс. в основній групі склали  $(83,51 \pm 4,03)$  бала, через 12 місяців —  $(87,09 \pm 5,31)$ ; у контрольній групі через 6 міс. —  $(75,43 \pm 4,45)$  бала, через 12 —  $(84,01 \pm 4,17)$  ( $p < 0,01$ ). Висновки. На ефективність хірургічного лікування пацієнтів із переломами задньої стінки кульшової западини впливають: вчасне закриття усунення вивиху головки стегнової кістки, проведення оперативного втручання в найбільш ранній термін із відновленням нормальної анатомії суглоба, стабільною фіксацією перелому та ранній початок реабілітаційних заходів.*

**Ключові слова.** Перелом, реабілітація, задня стінка кульшової западини



## Вступ

Переломи задньої стінки кульшової западини — найпоширеніший тип ушкодження кульшової западини, часто високоенергетичний і поєднується з травмами інших органів. Хірургічне лікування показано в разі переломів западини, які призводять до нестабільності й інконгруентності суглоба, а також під час ушкоджень із наявністю уламків кістки або м'яких тканин у межах цієї локалізації.

Ця група переломів характеризується високим рівнем раних і пізніх посттравматичних ускладнень, які призводять до інвалідизації у 73–88 % випадків [1]. Тактика лікування може варіюватися від закритого або відкритого усунення вивиху головки стегнової кістки, артроскопії, остеосинтезу, так і до виконання ендопротезування кульшового суглоба [2]. Перелом задньої стінки кульшової западини є внутрішньосуглобовим, має високий ризик появи на віддалених етапах посттравматичного артрозу, аваскулярного некрозу та часто спричинює інвалідизацію. Відсоток цих ускладнень значно зростає за переломів зі зміщеннями та здебільшого залежить від досягнення анатомічної репозиції [3]. Якісно виконане оперативне втручання є вагомим складовим, проте не менш важливою є комплексна реабілітація, яка має доповнювати проведені заходи та допомогти зменшити вторинні порушення. Реабілітаційне лікування має бути направленим на покращення рухливості в кульшовому суглобі, збільшення сили, витривалості та функціональної незалежності хворого в найкоротші терміни.

*Мета:* оцінити ефективність хірургічного лікування та реабілітаційних заходів щодо відновлення пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини.

## Матеріал і методи

Дослідження виконано з дотриманням положень Гельсинської декларації про права людини (2000 р.), Конституції та законодавства України про охорону здоров'я. Питання біоетичної експертизи й етики наукових досліджень розглянуто і схвалено комісією НУОЗ України ім. П. Л. Шупика (протокол № 11 від 16.11.2021 р.). Від усіх пацієнтів, які увійшли в дослідження, отримано інформовану згоду.

Проведено проспективний аналіз 44 медичних карт хворих, які знаходились на стаціонарному лікуванні в КНП КОР «Київська обласна клінічна лікарня» та КНП «Київська міська клінічна лікарня № 8» в період з 2021 по 2023 роки.

Здійснено фізикальне обстеження, вивчалися рентгенограми до та після оперативного втручання, результати комп'ютерної томографії. Оцінювання репозиції проводилось за шкалою Матта, а функції кульшового суглоба — за шкалою Harris Hip Score. Обчислення результатів відбувалось за допомогою методів математичної статистики.

Післяопераційне оцінювання репозиції виконувалось за шкалою Матта: анатомічна (зміщення до 1 мм), неідеальна (2–3 мм), незадовільна (більше 3 мм) [4]. Проаналізовано клініко-рентгенологічні результати через 3, 6 і 12 міс. у всіх пацієнтів у післяопераційному періоді. Окремим завданням було вивчення ефективності втручання в разі переломів задньої стінки кульшової западини за шкалою Harris Hip Score. За її допомогою оцінювали такі показники: «Біль», максимальний бал 44 — відсутність больових відчуттів, тоді як виражений біль у спокої означає 0 балів; для категорій «Функція», «Амплітуда рухів» та «Деформація» — відповідно 47, 5 та 4 бали. Оцінювання функції проводиться на основі 4 категорій: збереження звичної щоденної активності — 14 балів, відсутність кульгавості — 11, відсутність потреби у допоміжних засобах під час ходьби — 11, тривалість ходьби — 11. За збереження доопераційної амплітуди рухів присвоюється 5 балів, за відсутності деформації — 4. Максимальна кількість балів для одного суглоба, яку можна отримати, оцінюючи стан пацієнта за шкалою Harris Hip Score, дорівнює 100. Сума балів від 100 до 90 вважається відмінною, від 89 до 80 — хорошою, від 79 до 70 — задовільною, і менша 70 — незадовільною [5].

Гендерний розподіл є таким: чоловіки — 28 (63,6 %), жінки — 16 (36,4 %). Середній вік склав  $(42,2 \pm 13,1)$  року. Основні механізми травми: ДТП — 19 осіб (43,2 %), через воєнні дії — 16 випадків (36,4 %), кататравми — 9 постраждалих (20,4 %) (рис. 1).

Правостороннє травмування зафіксовано в 23 осіб (52,3 %), лівостороннє — у 21 (47,7 %). Неусунений вивих головки стегнової кістки під час госпіталізації діагностовано в 19 пацієнтів (43,2 %), термін усунення вивиху від 1 до 26 діб, середній —  $(8,9 \pm 2,6)$  діб. Критеріями виключення хворих із дослідження були складні переломи, які поєднувались з ушкодженнями внутрішніх органів (прямої кишки, сечового міхура) та черепно-мозковою травмою.

Першочерговим завданням для лікарів-травматологів було закриття усунення вивиху головки

стегнової кістки в найбільш ранній термін. Закрите його усунення успішно виконано в день травми у 11 (57,9 %) хворих, у перші 3 доби після травми — у 5 (26,3 %) осіб, відтерміноване усунення проведено у 3 (15,8 %) випадках. Термін проведення оперативного втручання від моменту травми становив від 1 до 26 діб, середній —  $(10,8 \pm 3,8)$  діб.

Хірургічний доступ Кохера-Лангенбека застосовувався у всіх випадках. Репозиція відбувалась із використанням тракційних пристроїв операційного столу для фіксації пацієнта за неушкоджену ділянку на рівні задньої верхньої ості клубової кістки та діяфізу стегнової кістки. Усім хворим виконано такі втручання: остеосинтез задньої стінки кульшової западини пластинами та гвинтами. Розмір пластины залежав від кількості та розмірів уламків. Головною метою остеосинтезу було досягнення анатомічної репозиції та стабільної фіксації перелому. Під час операції у всіх випадках виконувалась ревізія *n. ischiadicus* та його захист від інтраопераційного ушкодження.

Для всіх пацієнтів протокол ведення включав: після госпіталізації накладання системи скелетного витягання за надвиросткову зону стегнової

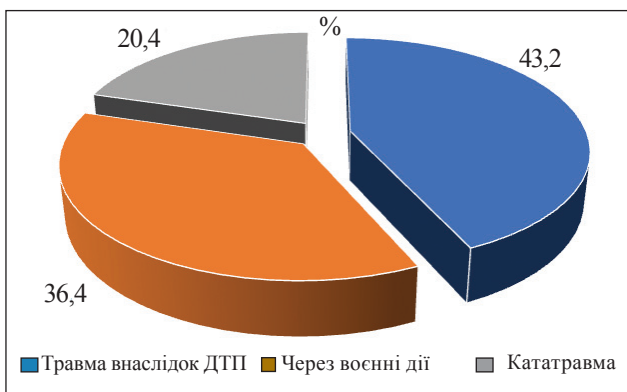


Рис. 1. Розподіл пацієнтів проспективної групи за механізмом травматичного ушкодження

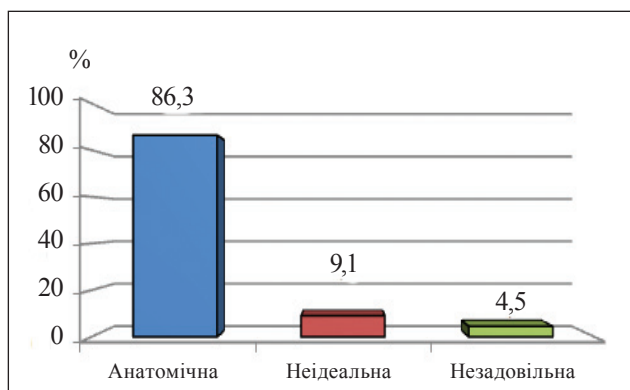


Рис. 2. Результати репозиції за шкалою Матта

кістки, проведення ультразвукової доплерографії судин нижніх кінцівок перед проведенням остеосинтезу та після, оперативне втручання для своєчасного виявлення тромботичних ускладнень.

Реабілітаційні заходи, які були важливою складовою відновлення хворих, розпочинались на наступний день після їхньої госпіталізації.

Гострий період (пацієнт знаходився на скелетному витягненні) включав терапевтичні втручання: ознайомлення з методом лікування травми, реабілітаційними заходами, можливими ускладненнями та заходами для їхнього уникнення; холодотерапія (для зменшення болю та чутливості). Також виконувалися такі вправи:

- для здорової нижньої кінцівки (НК) — флексія/екстензія в колінному, кульшовому, надп'ятково-гомільковому суглобах, відведення/приведення в кульшовому суглобі;
- піднімання таза з опорою на здорову нижню кінцівку (профілактика пролежнів);
- для верхніх кінцівок (ВК) — сидання в ліжку з опорою на балканську раму;
- для хворої НК — ідеомоторні, рухи в надп'ятково-гомільковому суглобі;
- дихальні — діафрагмальне дихання, навчання повному видиху, покашлюванню та відкашлюванню секрету, застосування дихального тренажера для профілактики респіраторних ускладнень.

За результатами отриманої репозиції за шкалою Матта пацієнтів розподілено на дві ідентичні групи, основну ( $n = 22$ ) та контрольну ( $n = 22$ ).

Контрольна група ( $n = 22$ ) займалась за традиційною програмою лікувальних установ, яка включала: виконання терапевтичних вправ (загально-розвиваючих, ізометричних, пасивних, пасивно-активних та активних), ранню вертикалізацію хворих, пересування з допоміжними засобами, лікувальний масаж, холодо- та магнітолазерну терапію.

В основній групі ( $n = 22$ ) застосовували розроблену програму, яка включала крім традиційних, сучасні методи та засоби реабілітації: кріотерапію, TENS-терапію, міофасціальний реліз, мобілізацію м'яких тканин (еластичними флос-стрічкою, блейдом), комплекс терапевтичних вправ із Thera-bend, на сферах і напівсферах (табл. 1).

Програма реабілітації після оперативного втручання включала три періоди, які наведено в таблиці 1.

Крім перерахованих методів і засобів у гострому періоді, важливим аспектом була рання

мобілізація пацієнтів. На початку проводилась вертикалізація з обов'язковим застосуванням компресійної терапії (еластичне бинтування або компресійні панчохи), навчання пересуванню зі засобами для додаткової опори. Хворі, які не мали надмірної ваги та проблем із координацією, пересувались із паховими милицями без навантаження на прооперовану кінцівку, допускалося торкання підлоги лише першим пальцем ступні, особи з високими факторами ризику падіння ходили за допомогою ходунців. Під час навчання ходи на милицях застосовувалась двонопа методика, за якої точка опори була на здорову НК, милиці й ушкоджена кінцівка виступали як одне ціле, а здорова — як окрема одиниця. Пацієнтів навчали підніматися вгору сходами, використовуючи спочатку здорову НК, потім милиці переносити одночасно з оперованою кінцівкою, а спускаючись зі сходів, спочатку опускати милиці й ушкоджену, а потім — здорову НК.

За наявного вираженого набряку оперованої НК проводилась елевация 2–3 рази на добу по 20–30 хв. На початку обмежено амплітуду рухів в оперованому кульшовому суглобі через набряк, запалення, початкову адгезію між латеральним широким м'язом стегна і напружувальним м'язом

широкої фасції стегна, тому рухи декілька днів виконувалися пасивно та пасивно-активно. Пацієнтам радили уникати в кульшовому суглобі гіперекстензії, внутрішньої ротації та підймання оперованої прямої НК. Активні терапевтичні вправи для сідничного м'яза та його зміцнення, обмежувалися в перші 6 тижнів через можливість перерозгинання стегна.

Головний аспект приділявся функціональній активності та незалежності хворого: навчали перевертатися на неушкоджений бік, самостійно сідати, підніматися з ліжка, одягатися через травмовану кінцівку, а роздягатися — зі здорової. Спочатку пацієнтам була потрібна допомога, а згодом вони самостійно виконували повсякденні дії зі застосуванням допоміжних засобів (підвищеного сидіння на унітаз, пристроїв досяжності для одягання шкарпеток і штанів), щоб зменшити навантаження на оперований суглоб.

Терапевтичні вправи здійснювались відповідно до больової толерантності, показник за візуально-аналоговою шкалою (VAS) був у межах 4 балів [6]. Подальша зміна в навантаженні на оперовану кінцівку обиралася згідно з результатами рентгенограми, стабільності перелому та перебігу зрощення.

Таблиця 1

**Програма реабілітації пацієнтів після хірургічного лікування з приводу перелому задньої стінки кульшової западини**

Період	Гострий	Післягострий	Довготривалий
Завдання	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Менеджмент набряку та болю</li> <li>2. Рання мобільність і вертикалізація</li> <li>3. Укріплення м'язів верхнього плечового поясу та здорової НК</li> <li>4. Адаптація до навантаження</li> <li>5. Профілактика контрактури в кульшовому суглобі</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Менеджмент набряку та болю</li> <li>2. Покращення м'язової сили, функціональних показників у кульшовому суглобі</li> <li>3. Покращення рівноваги та координації</li> <li>4. Підтримка фізичної форми</li> <li>5. Повернення пацієнта до самостійного обслуговування</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відновлення повної функції в кульшовому суглобі</li> <li>2. Відновлення правильного патерну ходьби</li> <li>3. Відновлення сили м'язів</li> <li>4. Повернення до професійної діяльності</li> </ol>
Методи та засоби	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Кріотерапія 10 хв 3 рази на день (5 процедур)</li> <li>2. Механотерапія на апараті СРМ по 20 хв раз на день (10 процедур)</li> <li>3. Лімфодренажний масаж по 10–15 хв (10 процедур)</li> <li>4. Активні терапевтичні вправи в усіх суглобах здорової НК та ВК</li> <li>5. Пасивні, пасивно-активні й активні рухи в оперованому суглобі</li> <li>6. Ізометричні напруження чотириголових м'язів</li> <li>7. Ізотонічні вправи для надп'яtkовогомілкових суглобів</li> <li>8. Тренування ADL (навичок у повсякденному житті)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Терапевтичні вправи (загально-розвиваючі, спеціальні, на розтягнення, дихальні, ізометричні, рухи з рубцем)</li> <li>2. Міофасціальний реліз, мобілізація м'язів тканин (еластична флос-стрічка, блейд)</li> <li>3. TENS-терапія (раз на день по 10 хв)</li> <li>4. Тренування функціональної мобільності (переміщення в ліжку, хода сходами)</li> <li>5. Тренування ADL (використання допоміжних засобів для одягання, гігієни й ін.)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Терапевтичні вправи (функціональні, на розтягнення, з опором на збільшення сили м'язів із Thera-bend), на координацію на сферах і напівсферах)</li> <li>2. Механотерапія (велотренажер Nautilus для зміцнення чотириголового м'яза стегна)</li> <li>3. Теплові компреси накладалися віддалено на спазмовані м'язи перед виконанням вправ</li> </ol>

## Результати

Середній термін рентгенологічної консолідації перелому становив ( $12 \pm 3$ ) тижнів. Серед пацієнтів у післяопераційному періоді діагностовано наступні ускладнення: посттравматична нейропатія сідничного нерва, в основній групі в 1 (4,54 %) особи та в контрольній у 2 (9,09 %); гетеротопічна осифікація — у 4 (18,2 %) хворих основної групи та в 7 (31,8 %) — контрольній; асептичний некроз головки стегнової кістки — у 6 (27,3 %) пацієнтів основної групи та 9 (40,9 %) контрольній.

Після оперативного лікування проводилась оцінка за шкалою Матта: у 38 осіб (86,5 %) було досягнуто анатомічної репозиції до 1 мм, у 4 (9 %) вона неідеальна (до 2–3 мм), а у 2 пацієнтів (4,5 %) — незадовільна (більше 3 мм), результати наведено на рис. 2.

Оцінка результатів за шкалою Харіса у підгрупах, проведена за критерієм Шапіро-Уїлка, засвідчила відповідність параметрам нормально розподілу ( $p = 0,382-0,573$ ), що дозволяє використати середнє арифметичне (M) та стандартне відхилення (SD) для описової статистики результатів. Разом з тим, наявність числа спостережень в підгрупах менше 30 ( $n = 22$ ), обумовило доцільність застосування непараметричних критеріїв порівняння результатів між групами (тест Манна-Уїтні) та в динаміці (тест Вілкоксона).

Результати лікування за шкалою Harris Hip Score наведено в таблиці 2.

Проведено статистичний аналіз впливу терміну проведення оперативного втручання на досягнення анатомічної репозиції перелому (табл. 3).

Дослідження закономірностей розвитку асептичного некрозу залежно від термінів усунення вивиху головки стегнової кістки наведено в таблиці 4.

## Обговорення

Значна частина вітчизняних і закордонних робіт наводить консервативні та хірургічні методи лікування з приводу перелому задньої стінки кульшової западини. Автори наголошують, що на відновлення пацієнтів впливає низка чинників, включаючи тип перелому, ушкодження головки стегнової кістки, супутні травми, терміни виконання операції, якість остеосинтезу та хірургічний доступ [3, 7, 8]. Ускладнення в разі переломів кульшової западини включають післяопераційну інфекцію, ушкодження сідничного нерва, гетеротопічну осифікацію, тромбоемболічні ускладнення, неправильне зрощення та незрощення [9].

N. Kaple, M. Lakhwani наводять реабілітаційні заходи для відновлення пацієнтів із таким типом перелому методом скелетного витягання, проте він потребує тривалого перебування хворого в горизонтальному положенні, що унеможливує швидке відновлення функціональних показників у кульшовому суглобі та сприяє збільшенню ризиків з боку серцево-судинної, дихальної систем та опорно-рухового апарата. Пролежні, інфекції

Таблиця 2

### Результати оцінювання функціонування кульшового суглоба за Harris Hip Score (M ± SD)

Етап (міс.)	Критерії шкали Harris Hip Score та групи		P (MW)
	основна (n = 22)	контрольна (n = 22)	
Рівень болю			
3	33,04 ± 4,01	30,19 ± 4,16	0,0250*
6	38,47 ± 4,41	34,51 ± 4,73	0,0060*
12	42,26 ± 4,52	39,36 ± 3,69	0,0240*
P (3–6)	0,0001*	0,0020*	—
P (3–12)	0,0001*	0,0001*	—
HHS (загальний)			
3	78,03 ± 4,15	69,14 ± 4,38	0,0001*
6	83,51 ± 4,03	75,43 ± 4,45	0,0080*
12	87,09 ± 5,31	84,01 ± 4,17	0,0380*
P (3–6)	0,0090*	0,0040*	—
P (3–12)	0,0001*	0,0001*	—

Примітки: P (MW) — порівняння між групами за критерієм Манна-Уїтні (\* — різниця статистично значуща); P (3–6), P (3–12) — оцінка показників в динаміці за тестом Вілкоксона (\* — різниця статистично значуща); M ± SD — середня арифметична та стандартне відхилення.



спицевого каналу та сечовивідних шляхів, тромбози, пневмонії є можливими побічними ефектами тривалого постільного режиму [10].

Більшість авторів наголошують на важливості саме оперативного лікування з приводу перелому задньої стінки кульшової западини та якісній реконструкції перелому [3, 9, 11]. Ми вважаємо, що найкращим методом хірургічного втручання у пацієнтів із переломами задньої стінки кульшової западини є мостоподібний накістковий металоостеосинтез (пластина розташовується від сідничного горбика до даху кульшової западини), використовуючи доступ Кохера-Лангенбека. Основна мета — досягнення анатомічної репозиції, яка безпосередньо впливає на результат лікування. обов'язковим завданням під час оперативного втручання є ревізія, захист і знеболення сідничного нерва.

Досить незначна частина робіт присвячена реабілітаційним заходам [10, 12], які є важливою складовою профілактики до та післяоперацій-

них ускладнень пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини. Більшість програм включають терапевтичні вправи, масаж і вертикалізацію хворого, проте не враховують комплексний підхід із залученням просвітницької роботи з пацієнтом, використання механотерапевтичних засобів, фізіотерапевтичних, міофасціальних технік для роботи з м'язами та післяопераційним рубцем, що покращує та пришвидшує відновлення.

Вивчаючи проведений аналіз, ми вважаємо, що на результат впливають: якість репозиції, термін проведення оперативного втручання від моменту отримання травми, ранній початок реабілітаційних заходів. Найкращий результат виявили в пацієнтів, яким було виконано оперативне втручання протягом 21 доби з моменту отримання травми, досягнуто анатомічну репозицію та розпочато реабілітаційні заходи одразу від моменту госпіталізації до стаціонару. Серед реабілітаційних заходів найбільший вплив мали: комплексний підхід, рання мобілізація хворого, проведення заходів для зменшення набряку та тугорухливості в кульшовому суглобі, збільшення сили м'язів, покращення щоденної діяльності й активності.

#### Клінічний випадок № 1

Пацієнт З., 52 роки. Лікувався в умовах КНП «Київська міська клінічна лікарня № 8». Травму отримав внаслідок ДТП 27.06.2023 р. Діагноз: закритий перелом задньої стінки лівої кульшової западини зі зміщенням, стан після усунення вивиху головки лівої стегнової кістки (28.06.2023 р.).

Таблиця 4

#### Результати дослідження закономірностей розвитку асептичного некрозу

Доба усунення вивиху	Розподіл пацієнтів	Частота виявлення початкових ознак АНГСК	Індекс некрозу (Кoo та Kim)		
			А	В	С
Перша	11 (57,9 %)	8/11 (72,7 %)	6 (54,5 %)	2 (18,2 %)	—
До 3	5 (26,3 %)	5/5 (100,0 %)	1 (20,0 %)	4 (80,0 %)	—
3–26	3 (15,8 %)	3/3 (100,0 %)	—	2 (66,7 %)	1 (33,3 %)

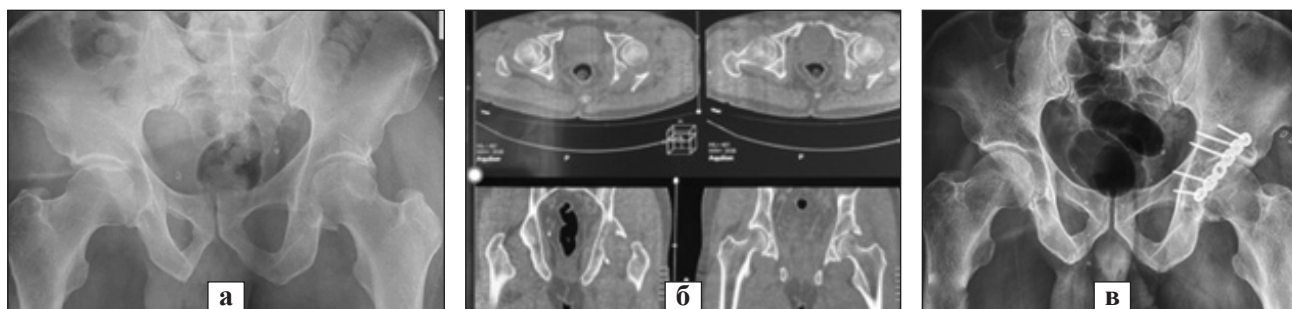
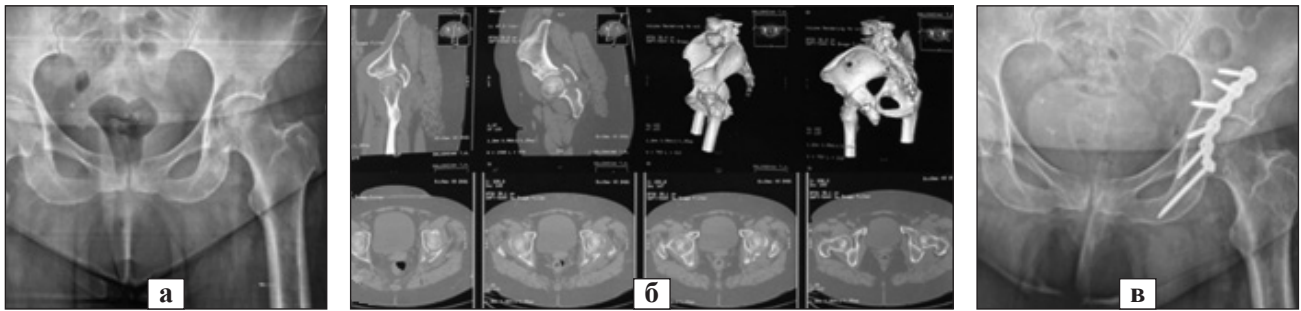


Рис. 3. Рентгенограми та КТ-скани перелому задньої стінки кульшової западини пацієнта З.: а), б) перелом задньої стінки лівої кульшової западини; в) стан після остеосинтезу кульшової западини пластиною та гвинтами



**Рис. 4.** Рентгенограми та КТ-скани перелому задньої стінки кульшової западини пацієнтки Г.: а, б) перелом задньої стінки лівої кульшової западини; в) стан після остеосинтезу кульшової западини пластиною та гвинтами

Лікувався в умовах ЦРЛ консервативно. Госпіталізований до КНП «Київська міська клінічна лікарня № 8» 03.07.2023 р. З 04.07.2023 р. — початок реабілітаційних заходів. Оперативне втручання виконано 10.07.2023 р. — відкрита репозиція уламків лівої кульшової западини, металоостеосинтез перелому пластиною та гвинтами. Оцінювання результатів за шкалою Харріса: через 3 міс. —  $(79,12 \pm 2,41)$  бала, через 6 міс. —  $(83,02 \pm 3,84)$ , через 12 міс. —  $(85,42 \pm 3,12)$ .

#### Клінічний випадок № 2

Пацієнтка Г., 60 років. Лікувалась в умовах КНП КОР «Київська обласна клінічна лікарня». Травму отримала внаслідок падіння з висоти 03.12.2021 р. Діагноз: закритий перелом задньої стінки лівої кульшової западини зі зміщенням. Госпіталізована до КНП КОР «Київська обласна клінічна лікарня» 03.12.2021 р. Із 04.12.2021 р. розпочато реабілітаційні заходи. Оперативне втручання виконано 06.12.2021 р. — відкрита репозиція уламків лівої кульшової западини, металоостеосинтез перелому пластиною та гвинтами. Оцінювання результатів за шкалою Харріса: через 3 міс. —  $(80,02 \pm 2,11)$  бала, через 6 міс. —  $(83,21 \pm 3,78)$ , через 12 міс. —  $(88,62 \pm 5,37)$ .

#### Висновки

На ефективність хірургічного лікування пацієнтів із переломами задньої стінки кульшової западини впливають закрите усунення вивиху головки стегнової кістки й проведення оперативного втручання в найбільш ранній термін із відновленням нормальної анатомії суглоба, стабільною фіксацією перелому. Проведений статистичний аналіз показав, що усунення вивиху головки стегнової кістки в першу добу після травми дозволяє зменшити ризик розвитку асептичного некрозу на 26,3 % в порівнянні з більш пізнім терміном усунення вивиху. Під час проведення оперативного втручання протягом перших 7 днів після травми можливість досягнення анатомічної

репозиції перелому складає 94,4 %, у той час, як за умови виконання втручання в період 7–21 доба та більше, становить 60 та 33,3 % відповідно.

Запропонована реабілітаційна програма для основної групи: терапевтичні вправи, кріо- та TENS-терапія, міофасціальний реліз, мобілізація м'яких тканин (еластичними флос-стрічка, блейдом), комплекс терапевтичних вправ із Theraband, на сферах та на півсферах сприяли відновленню функціональних показників у кульшовому суглобі за шкалою Harris Hip Score у порівнянні з контрольною групою через 3 місяці на 12 та через 6 — на 10,7 %.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** У перспективі інтерес становлять дослідження щодо оптимізації комплексного лікування пацієнтів з ушкодженням кульшового суглоба.

**Інформація про фінансування.** Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

**Внесок авторів.** Анкін М. Л. — концепція і дизайн, збір та обробка матеріалів, редагування тексту; Ладика В. О. — аналіз отриманих даних, редагування тексту; Гляйна О. О. — аналіз отриманих даних, написання й редагування тексту; Барілович М. М. — аналіз отриманих даних, написання та редагування тексту.

#### Список літератури

1. Vyrva, O., & Vatamanitsa, D. (2021). Current trends in the treatment of acetabular fractures (literature review). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (2), 83–91. <https://doi.org/10.15674/0030-59872021283-91>
2. Hoge, S, Chauvin, B. J. (2023). Acetabular Fractures. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
3. Prudnikov, Y., Klimovitsky, V., & Bondarenko, S. (2020). Retrospective comparative study of surgical treatment of patients with fractures of the posterior acetabular wall. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (2), 24–32. <https://doi.org/10.15674/0030-59872020224-32>
4. Paksoy, A. E., Topal, M., Aydin, A., Zencirli, K., Kose, A., & Yildiz, V. (2019). Outcomes of surgical management of acetabular fractures treated with anterior approaches. *The Eurasian journal of medicine*, 51(3), 257–261. <https://doi.org/10.5152/eurasianjmed.2019.0241>

5. Ramadanov, N., Voss, M., Hable, R., Hakam, H. T., Prill, R., Salzmann, M., Dimitrov, D., & Becker, R. (2024). Postoperative Harris hip score versus Harris hip score difference in hip replacement: What to report? *Orthopaedic Surgery*, 17(1), 3–21. <https://doi.org/10.1111/os.14272>
6. Myles, P., Myles, D., Gallagher, W., Boyd, D., Chew, C., MacDonald, N., & Dennis, A. (2017). Measuring acute postoperative pain using the visual analog scale: The minimal clinically important difference and patient acceptable symptom state. *British journal of anaesthesia*, 118(3), 424–429. <https://doi.org/10.1093/bja/aew466>
7. Trufanov, I. (2022). Surgical treatment of acetabular fractures. *Trauma*, 22(4), 46–51. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.22.2021.239709>
8. Aprato, A., Ghia, C., ... & Tosto, F. (2019). How much does saving femoral head cost after acetabular fracture? Comparison between ORIF and THA. *Acta Orthopaedica Belgica*, 85(4), 502–509
9. Ziran, N., Soles, G. L., & Matta, J. M. (2019). Outcomes after surgical treatment of acetabular fractures: A review. *Patient Safety in Surgery*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13037-019-0196-2>
10. Kaple, N., Lakhwani, M., Jagzape, M., & Phansopkar, P. (2022). Descriptive case report on the postoperative rehabilitation of roof and posterior column acetabular fracture following accidental event. *Medical Science*, 26(125), 1–7. <https://doi.org/10.54905/disssi/v26i125/ms320e2256>
11. Ankin, M., Zarutsky, Y., & Burluka, V. (2017). Predicted tactics of surgical treatment of unstable pelvic injuries in polytrauma. *Odessa medical journal*, 3, 78–82. (In Ukrainian)
12. Pasenko, M., Hlyniana, O., & Siomych, Y. (2022). Rehabilitation diagnosis of patients after osteosynthesis of the acetabulum based on the International Classification of Functioning, Disability, and Health. *Physical education, sport and health culture in modern society*, (1(57)), 52–58. <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2022-01-52-58>

Стаття надійшла до редакції 10.10.2024	Отримано після рецензування 21.01.2025	Прийнято до друку 23.01.2025
---	---	---------------------------------

## THE EFFICIENCY OF SURGICAL TREATMENT AND REHABILITATION IN THE RECOVERY OF PATIENTS WITH A CETABULAR POSTERIOR WALL FRACTURES

M. L. Ankin <sup>1</sup>, V. O. Ladyka <sup>1</sup>, O. O. Glynyana <sup>2</sup>, M. M. Barylovykh <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

✉ Mykola Ankin, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: [m.ankin@ukr.net](mailto:m.ankin@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0001-9795-0931>

✉ Viktoriia Ladyka, MD, PhD: [Ladika084@gmail.com](mailto:Ladika084@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3796-428X>

✉ Oksana Glynyana, PhD: [gksusha25@gmail.com](mailto:gksusha25@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4118-0856>

✉ Mykola Barylovykh, MD: [barilovichk@gmail.com](mailto:barilovichk@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-9116-1023>

## КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА НОТАТКИ З ПРАКТИКИ

УДК 616.718.5-089.853:617.58-7](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025190-95>

### Використання індивідуального інструмента для високої вальгівної остеотомії великогомілкової кістки за варусного гонартрозу

М. Л. Головаха<sup>1</sup>, С. А. Бондаренко<sup>2</sup>, Р. Харт<sup>3</sup>, В. Орлянський<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Запорізький державний медико-фармацевтичний університет. Україна

<sup>2</sup> Клініка «Мотор Січ», Запоріжжя. Україна

<sup>2</sup> МНА Клініка Віденської Асоціації Здоров'я Оттакринг. Австрія

<sup>3</sup> Віденська приватна клініка. Австрія

*The work purpose was to present a new method of preoperative planning of high valgus tibial osteotomy with an individual instrument. Methods. Computed tomography (CT) of the lower extremities of a patient with stage II varus gonarthrosis was used. Bone segmentation from surrounding tissues, modeling of the lower extremities, correction of the tibia axis, and construction of individual blocks for resection were performed. The individual instrument is a block for performing osteotomy with depth indication and a hole for the upper middle screw of the T-shaped plate and two individual wedges for opening the osteotomy to the marks applied to them. The surgical intervention was performed with fluoroscopy control after knee arthroscopy. Partial removal of the medial meniscus and microfracture of the cartilage defect of the medial femoral condyle were performed simultaneously. Results. The planned correction of the tibia was accurately reproduced, which was confirmed by CT after surgery. In the postoperative period, there were no complications with wound healing, loading of the limb was started after 3 weeks, walking with a cane after 6, and without additional support after 10. X-rays were performed after 6, 12 weeks and 6, 12 months after the operation. A year later, the full range of motion and symmetrical walking were restored. The individual instrument allowed for quick and accurate placement of the plate, and wedges for opening the osteotomy helped to correctly reproduce the correction and hold it during osteosynthesis. Conclusion. The use of the proposed individual instrument for high valgus tibial osteotomy was convenient, simplified some stages of the surgical intervention, and ensured accurate planned correction of the angular deformity. Key words. Osteotomy, individual instrument, gonarthrosis.*

*Мета. Навести нову методику передопераційного планування високої вальгівної остеотомії великогомілкової кістки з виготовленням індивідуального інструмента. Методи. Використано комп'ютерну томографію (КТ) нижніх кінцівок пацієнта з варусним гонартрозом II стадії. Було здійснено сегментування кістки від навколишніх тканин, моделювання нижніх кінцівок, корекція осі великогомілкової кістки та побудова індивідуальних блоків для резекції. Індивідуальний інструмент — це блок для виконання остеотомії із вказанням глибини й отвором під верхній середній гвинт T-подібної пластинки та два індивідуальні клини для розкриття остеотомії до нанесених на них міток. Оперативне втручання проведено з рентгеноскопичним контролем після артроскопії колінного суглоба. Одночасно здійснено парціальне видалення медіального меніска та мікрофрактуризацію дефекту хряща медіального виростка стегнової кістки. Результати. Заплановану корекцію великогомілкової кістки точно відтворено, що підтвердило КТ після втручання. У післяопераційному періоді не було ускладнень із загоєнням рани, навантаження кінцівки розпочато через 3 тижні, ходьба з тростиною — через 6, а без додаткової опори — через 10. Рентгенографію проводили через 6, 12 тижнів та 6, 12 міс. після операції. Через рік відновлено повний обсяг рухів та симетричну ходьбу. Індивідуальний інструмент дозволив швидко та точно встановити пластинку, а клини для розкриття остеотомії допомогли правильно відтворити корекцію й утримувати її під час остеосинтезу. Висновок. Використання запропонованого індивідуального інструмента для високої вальгівної остеотомії великогомілкової кістки було зручним, спростило деякі етапи проведення оперативного втручання та забезпечило точну заплановану корекцію кутової деформації.*

**Ключові слова.** Остеотомія, індивідуальний інструмент, гонартроз



## Вступ

Коригувальна остеотомія великогомілкової кістки — один із широко застосовуваних хірургічних способів, які дозволяють зберігати колінний суглоб на тривалий період часу [1, 8, 9]. Її комбінують з артроскопією, а також різними методиками хондропластики. Використовуючи коригувальну остеотомію, ми можемо відновити функцію колінного суглоба на тлі різних деформацій на період не менше 8 років [3, 8, 11]. Проблемні питання лежать одночасно в кількох площинах:

- на якій стадії слід пропонувати пацієнтові остеотомію;
- як краще замінити дефект хряща;
- у яких межах коригувати вісь колінного суглоба;
- як забезпечити точність запланованої корекції деформації?

*Мета:* навести нову методику передопераційного планування високої вальгізуючої остеотомії великогомілкової кістки з виготовленням індивідуального інструмента.

## Матеріал і методи

Роботу схвалено етичним комітетом Запорізького державного медико-фармацевтичного університету (протокол № 8 від 26.12.2022 р.), було отримано інформовану згоду пацієнта.

У цьому дослідженні наведено результат лікування пацієнта Л., 53 років із вторинним остеоартрозом колінного суглоба та варусною деформацією (рис. 1), якому проведено коригувальну остеотомію зі застосуванням індивідуального інструмента. Індекс маси тіла — 32 кг/м<sup>2</sup>, варусна деформація з вершиною в зоні проксимального відділу великогомілкової кістки, без значних ушкоджень латерального відділу колінного суглоба, II стадія за класифікацією Kellgren-Lawrence.

Для проведення дослідження використано комп'ютерну томографію (КТ) нижніх кінцівок хворого з товщиною зрізів 0,8 мм. Проектування провели в два етапи: 1) сегментування кістки від навколишніх тканин виконали в програмі Materialise Mimics 26.0; 2) моделювання нижніх кінцівок, корекцію осі великогомілкової кістки та побудову індивідуальних блоків для резекції робили в програмі Geomagic FreeForm Plus (рис. 2).

Основою для планування остеотомії в зоні колінного суглоба є стегнова кістка. Тому на неї встановлювали сагітальну та фронтальну площини моделі й оцінювали нахил «лінії колінного суглоба», яка за тривимірного моделювання

має вигляд не лінії, а площини. Це визначається будовою стегнової кістки — у цьому випадку нахил площини колінного суглоба був у нормі. У програмі відновлювали правильну механічну вісь кінцівки шляхом віртуальної високої вальгізуючої остеотомії, що відкривається (рис. 3). Провівши компенсацію деформації, ми вимірювали кут корекції та планували рівень остеотомії, положення її площини та позицію пластинки для остеосинтезу (рис. 4). Наприкінці проєктували індивідуальний інструмент, який складався з блока для зрізу з отворами для спиць напрямних по площині остеотомії і каналом під верхній середній гвинт пластинки типу Tomofix [2], а також двох індивідуальних клинів для розкриття остеотомії з нанесеними мітками глибини їхнього введення (рис. 5). На блоці для зрізу наносили дані пацієнта, глибини остеотомії та свердління каналу під верхній середній гвинт пластинки.

Після затвердження модель великогомілкової кістки, блок для зрізу та клини друкували з медичної фотополімерної смоли Dental SG Resin (рис. 6).

Після операції провели КТ колінного суглоба й оцінили точність інструмента шляхом порівняння рентгенометричних показників планування остеотомії та даних після втручання. Операцію проведено за відомою методикою з рентгеноскопічним контролем після артроскопії колінного суглоба [5, 8, 9]. Одночасно здійснено парціальне видалення медіального меніска та мікрофрактуризацію дефекту хряща медіального виростка стегнової кістки. Під час оперативного втручання після виділення проксимального відділу великогомілкової кістки, ми приклали індивідуальний блок для зрізу до моделі та до кістки по черзі, намагаючись досягти максимальної відповідності позиції блока. Етапи хірургічного втручання подвійної високої вальгізуючої остеотомії великогомілкової кістки наведено на рис. 7.

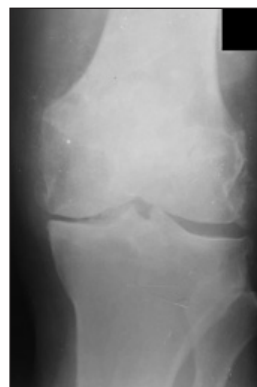
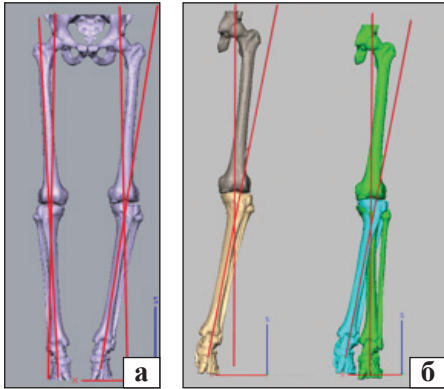
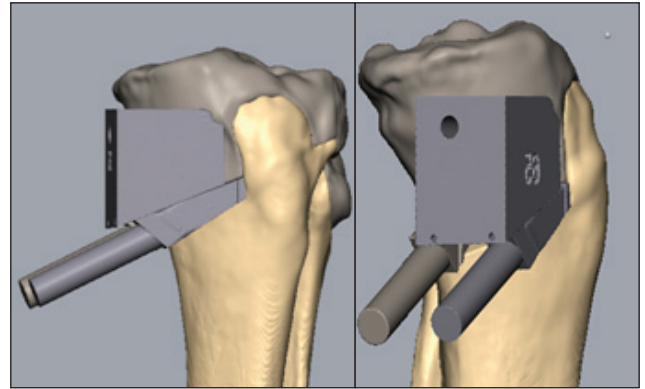


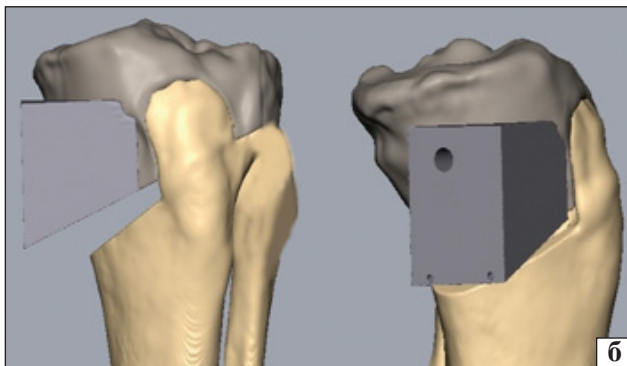
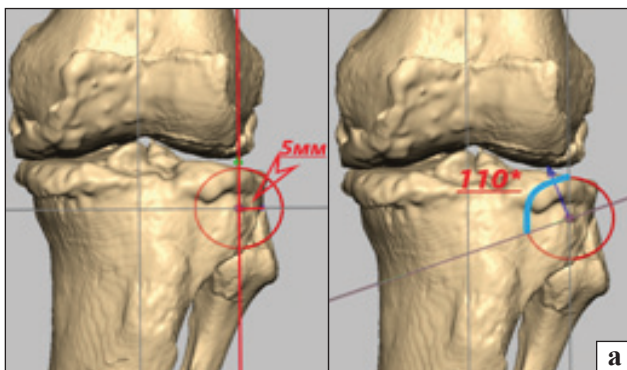
Рис. 1. Рентгенографія колінного суглоба пацієнта Л., 53 р. до операції



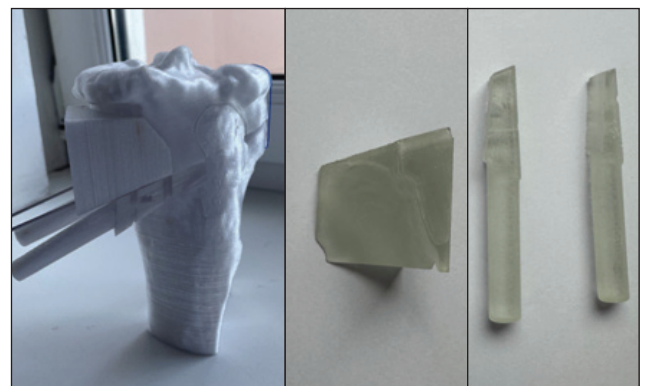
**Рис. 2.** Модель кінцівки для планування остеотомії, визначення деформації й оцінювання осі кінцівки (а); вимірювання необхідного кута корекції (б)



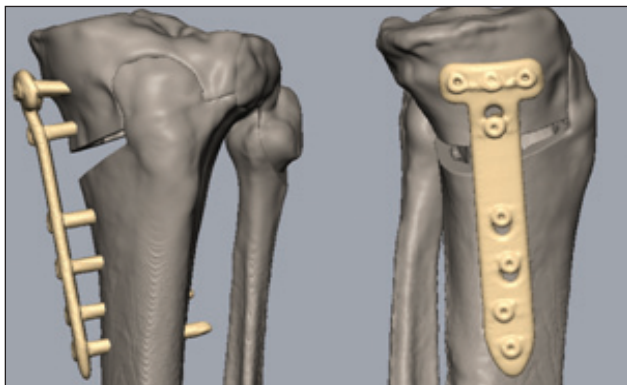
**Рис. 5.** Проектування індивідуальних клинів для утримання розкриття остеотомії й отвору для верхнього середнього гвинта пластинки



**Рис. 3.** Планування остеотомії: а) верхня точка остеотомії на рівні головки малогомілкової кістки, яка знаходиться на 5 мм від кіркового шару; б) проєкт подвійної остеотомії



**Рис. 6.** Модель великогомілкової кістки, індивідуальний блок і клини для розкриття остеотомії



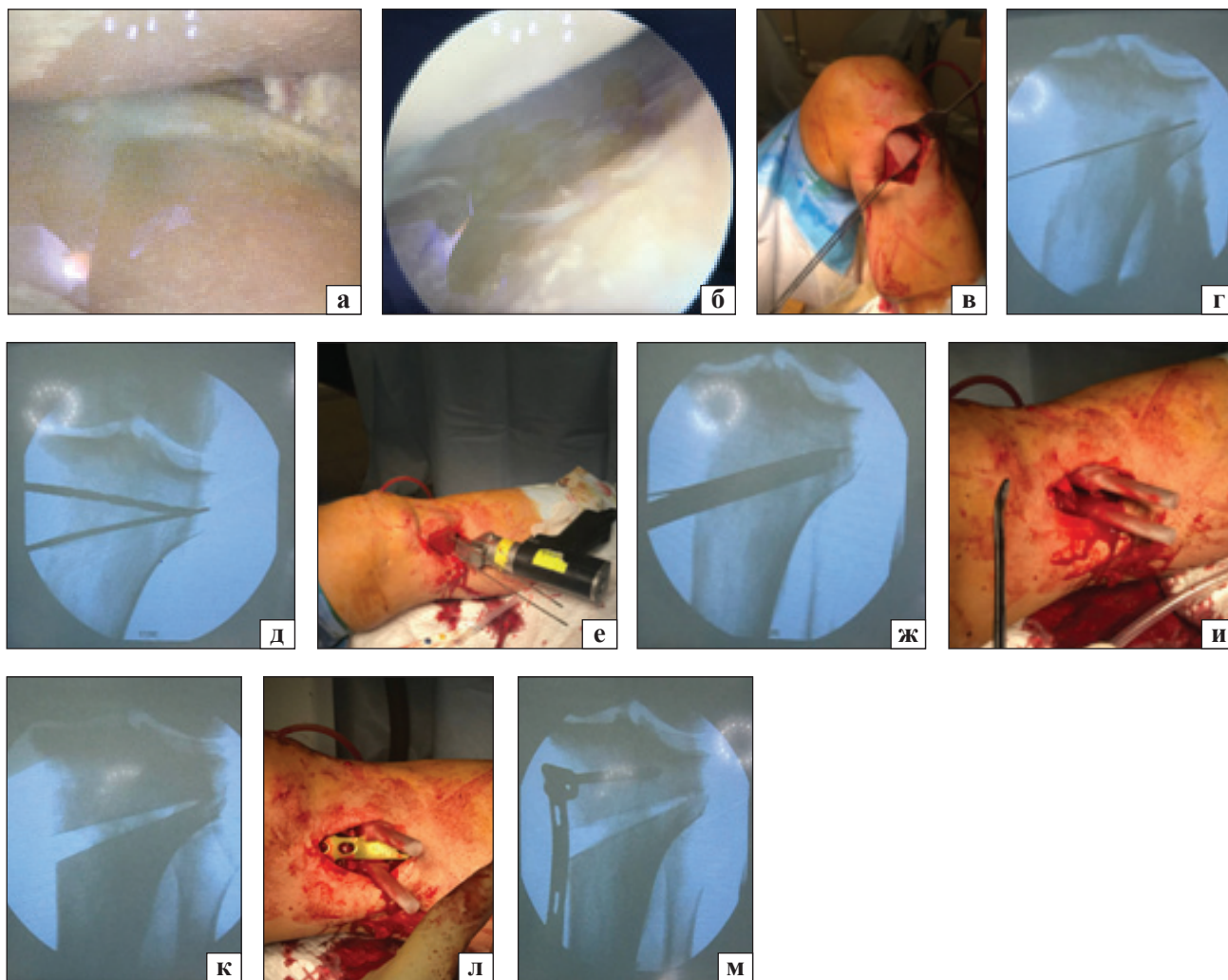
**Рис. 4.** Моделювання позиції пластинки

## Результати

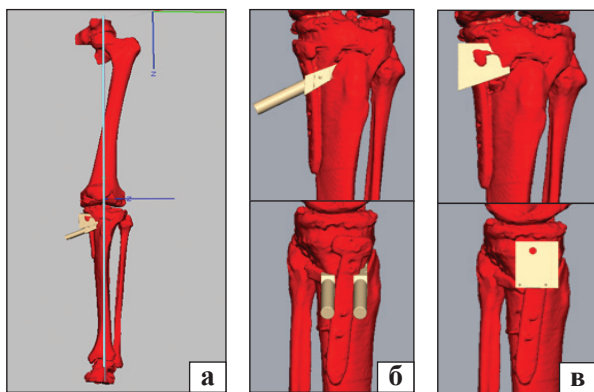
Для перевірки точності застосування індивідуального інструмента для коригувальної остеотомії ми провели віртуальну установку індивідуальних кондукторів для зрізу та клинів у тривимірну модель, яка була побудована за допомогою КТ пацієнта після операції. Так, на рис. 8 показано модель нижньої кінцівки після операції, розкриття остеотомію, віртуально «вставлені» клини і прикладений індивідуальний шаблон для зрізу. На (рис. 8, б, в) добре видно, що клини абсолютно точно «лягли» в розкриття остеотомії, а шаблон для зрізу — на поверхню великогомілкової кістки.

Проведено порівняльний аналіз основних рентгенометричних показників планування остеотомії та корекції, отриманої в результаті операції. Використовували КТ до та після хірургічного втручання (рис. 9, таблиця).

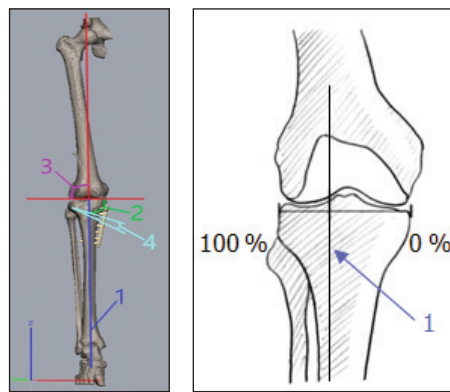
У результаті проведеного аналізу не визначено суттєвих відхилень від плану, що подано на рентгенографії (рис. 10).



**Рис. 7.** Етапи оперативного втручання з індивідуальним інструментом для високої вальгізуючої остеотомії великогомілкової кістки: медіальний (а) і латеральний (б) відділи колінного суглоба; в) встановлення індивідуального кондуктора та проведення напрямних спиць; г) перевірка рентгеноскопією; д) свердління отвору під середній проксимальний гвинт; е) остеотомія по нижньому краю індивідуального блока; ж) рентгеноскопічний контроль глибини остеотомії; и) після розкриття остеотомії встановлено індивідуальні клини; к) рентген-контроль — пластикові клини не закривають кістку; л) установка пластинки середнім проксимальним отвором на заздалегідь просвердлений канал і введення гвинта; м) рентгенограма установки пластинки



**Рис. 8.** Тривимірні моделі кінцівки після остеотомії зі встановленням моделей індивідуальних клинів для розкриття й індивідуального кондуктора для зрізу: а) визначено механічну вісь нижньої кінцівки; порівняння результатів встановлення клинів (б) і кондуктора (в)



**Рис. 9.** Схеми порівняння результатів: 1) точка механічної осі кінцівки на плато великогомілкової кістки (у відсотках); 2) значення механічного проксимального медіального великогомілкового кута; 3) дані механічного дистального латерального стегнового кута; 4) кут відкриття остеотомії



Таблиця

## Показники рентгенометрії, заплановані й отримані в результаті хірургічного втручання

Пацієнт	Кут відкриття остеотомії		Позиція осі кінцівки, %		Медіальний великогомілковий кут, °		Латеральний стегновий кут, °	
	план	після операції	план	після операції	план	після операції	план	після операції
1	11,0	11,0	58,0	58,1	87,0	87,1	87,0	87,2



Рис. 10. Рентгенографія після операції: а) пряма і б) бокова проєкції



Рис. 11. Рентгенографія через 4 роки після операції

У післяопераційному періоді не було ускладнень із загоєнням рани, пацієнт почав навантажувати кінцівку через 3 тижні після операції відповідно до протоколу після мікрофрактуризації дефекту хряща колінного суглоба. Ходьбу з тростиною дозволено через 6 тижнів, а без додаткової опори — через 10. Рентгенографію проводили через 6 і 12 тижнів та 6, 12 міс. після операції. Через рік після втручання відновлено повний обсяг рухів і симетричну ходьбу, за шкалою KSS було 173 бали, HSS — 92 та індекс Lequesne — 3, металоконструкцію видалено. Спостереження тривало протягом 4 років (рис. 11) і показало задовільний функціональний результат — пацієнт не відзначав погіршення свого стану, хоча рентгенографія відповідає III стадії гонартрозу.

### Обговорення

У результаті оперативного втручання індивідуальний інструмент дозволив швидко знайти площину остеотомії, не вимагав збільшення довжини розрізу шкіри, не заважав рентгеноскопичному контролю. Заданий планом отвір для верхнього середнього гвинта дозволив швидко та точно встановити пластинку. Індивідуальні клини для розкриття остеотомії допомогли правильно відтворити корекцію й утримувати її під час остеосинтезу, не зважаючи на дані рентгеноскопії.

Наше дослідження має низку недоліків. Для отримання більш точних та узагальнених висновків потрібно подальше порівняльне вивчен-

ня, що повинно включати більшу кількість пацієнтів і враховувати довгострокові результати. Крім того, важливо передбачити індивідуальні особливості кожного випадку й оптимальний вибір методики лікування з урахуванням клінічних та анатомічних чинників. Особливу увагу необхідно приділити порівняльному аналізу ефективності операції з індивідуальним інструментом і конвекційною технікою, а також вивченню віддалених результатів і задоволеності пацієнтів.

Загалом, опубліковані статті в останні роки підтверджують перспективність та ефективність використання індивідуальних інструментів для остеотомії великогомілкової кістки за варусного гонартрозу [4, 6, 7, 10]. Подальші дослідження дозволять уточнити та доповнити отримані дані, що сприятиме покращенню результатів хірургічного лікування цього патологічного стану [10, 11].

Слід зазначити безперечну перевагу індивідуального тривимірного планування остеотомії, що дозволяє самостійно виявити деформацію кінцівки, ротацію, положення площини колінного суглоба і вибрати правильно як рівень, так і висоту розкриття остеотомії. Неконтрастні для рентгеноскопії індивідуальний кондуктор та клини-спейсери полегшують роботу під час операції, а наперед задана позиція пластинки для остеосинтезу спрощує та прискорює проведення операції.



## Висновок

Використання запропонованого індивідуального інструмента для високої вальгізуючої остеотомії великогомілкової кістки було зручним, спростило основні етапи проведення оперативного втручання та забезпечило точну заплановану корекцію кутової деформації.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Проведення аналізу результатів використання індивідуального інструмента для високої вальгізуючої остеотомії великогомілкової кістки для визначення точності роботи інструмента, зручності його використання й вивчення аналізу найближчих і віддалених результатів його використання.

**Інформація про фінансування.** Фінансування роботи проведено власними коштами.

**Внесок авторів.** Головаха М. Л. — планування роботи, постановка мети та завдань, розробка моделей інструмента, виконання оперативних втручань; Бондаренко С. А. — побудова тримірних моделей та їх 3D-друк, статистичний аналіз; Харт Р. — рецензування роботи та підготовка рукопису; Орлянський В. — планування оперативних втручань та аналіз результатів.

## Список літератури

- Coventry, M. B. (2001). Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. *The journal of bone and joint surgery-american volume*, 83(9), 1426. <https://doi.org/10.2106/00004623-200109000-00021>
- DePuySynthes (2016) TomoFix Medial High Tibial Plate (MHT) surgical technique. DSEM/TRM/0115/0288(0112)
- Lau, L. C., Fan, J. C., Chung, K., Cheung, K., Man, G. C., Hung, Y., Kwok, C. K., Ho, K. K., Chiu, K., & Yung, P. S. (2021). Satisfactory long-term survival, functional and radiological outcomes of open-wedge high tibial osteotomy for managing knee osteoarthritis: Minimum 10-year follow-up study. *Journal of orthopaedic translation*, 26, 60–6. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02389-410.1016/j.jot.2020.03.003>
- Fucetese, S. F., Meier, P., Jud, L., Köchli, G., Aichmair, A., Vlachopoulos, L., & Färnstahl, P. (2020). Accuracy of 3D-planned patient specific instrumentation in high tibial open wedge valgisation osteotomy. *Journal of experimental orthopaedics*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40634-020-00224-y>
- Fujisawa, Y., Masuhara, K., & Shiomi, S. (1979). The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee. *Orthopedic Clinics of North America*, 10(3), 585–608. [https://doi.org/10.1016/s0030-5898\(20\)30753-7](https://doi.org/10.1016/s0030-5898(20)30753-7)
- Hinterwimmer, S., Feucht, M. J., Paul, J., Kirchhoff, C., Sauerschnig, M., Imhoff, A. B., & Beitzel, K. (2016). Analysis of the effects of high tibial osteotomy on tibial rotation. *International orthopaedics*, 40(9), 1849–1854. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-3100-4> PMID: 26753845
- Kim, H. J., Yoon, J., Choi, G. W., & Yang, J. (2016). Imageless navigation versus conventional open wedge high tibial osteotomy: A meta-analysis of comparative studies. *Knee surgery & related research*, 28(1), 16–26. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2016.28.1.16>
- Lobenhoffer, P. (2017). The rationale of osteotomy around the knee. *The Journal of knee surgery*, 30(05), 386–392. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1603755>
- Pang, R., Jiang, Z., Xu, C., Shi, W., Zhang, X., Wan, X., Bahat, D., Li, H., Senatov, F., Bulygina, I., Wang, H., Zhang, H., & Li, Z. (2022). Is patient-specific instrumentation accurate and necessary for open-wedge high tibial osteotomy? A meta-analysis. *Orthopaedic surgery*, 15(2), 413–422. <https://doi.org/10.1111/os.13483>
- Sprenger, T. R., & Doerzbacher, J. F. (2003). Tibial osteotomy for the treatment of Varus gonarthrosis. *The journal of bone and joint surgery-american volume*, 85(3), 469–474. <https://doi.org/10.2106/00004623-200303000-00011>

Стаття надійшла до редакції 02.01.2025	Отримано після рецензування 17.02.2025	Прийнято до друку 18.02.2025
---	---	---------------------------------

## USE OF INDIVIDUAL INSTRUMENT FOR HIGH TIBIAL ALGUS OSTEOTOMY IN VARUS GONARTHROSIS

M. L. Golovakha<sup>1</sup>, S. A. Bondarenko<sup>2</sup>, R. Hart<sup>3</sup>, W. Orljanski<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University. Ukraine

<sup>2</sup> Clinic «Motor Sich». Ukraine

<sup>3</sup> MHA Wiener Gesundheitsverbund Klinik Ottakring. Austria

<sup>4</sup> «Wiener Privat klinik». Austria

✉ Maxim Golovakha, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: golovahaml@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2835-9333>

✉ Stanislav Bondarenko, MD: trauma.bon.s@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6192-1466>

✉ Radek Hart, MD, Prof.: radekhardt23@gmail

✉ Weniamin Orljanski, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: orljanski@hotmail.com

## ОГЛЯДИ ТА РЕЦЕНЗІЇ

УДК 616-053.9:[616.71-007.234+616.74-007.23]](048.8)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025196-106>**Остеосаркопенія: епідеміологія, фактори ризику та сучасні стратегії менеджменту****Д. Ю. Курило, Н. В. Григор'єва**

ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», Київ

*Osteosarcopenia is a combination of osteoporosis and sarcopenia that has been identified as a distinct geriatric syndrome, which has recently attracted increasing attention from the medical community. Unfortunately, to date, there are no unified criteria for defining this syndrome, which affects the determination of its epidemiology and prevention methods. The coexistence of osteoporosis and sarcopenia in an individual is associated with an increased risk of falls and fractures, reduced functional capabilities and quality of life, and a heightened risk of mortality; thus, it holds significant medical and social importance. The aim of this review was to analyze the current literature on osteosarcopenia, including its prevalence, pathogenesis, risk factors, and management. Methods. A review of literature sources was carried out in the electronic scientometric databases PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar using the keywords: "osteoporosis", "sarcopenia", "osteosarcopenia", "sarcoporosis" for 2019-2024 with additional inclusion in the analysis of earlier publications which have a recognized scientific value. Both cohort and prospective studies, as well as meta-analyses and systematic reviews, were analyzed. The results of this work included clarifying terminology, determining the global prevalence of osteosarcopenia, and analyzing risk factors and key components of its pathogenesis, particularly in subjects with comorbidities (such as diabetes and obesity). Scientific studies on the most explored pharmacological and non-pharmacological approaches to treating osteosarcopenia were also reviewed, with a focus on methods that require further research to confirm their effectiveness. Conclusions. Given the prevalence of osteosarcopenia and the associated risks, further investigation, especially within the Ukrainian population, is highly relevant and necessitates new research to improve the management of this geriatric syndrome. Key words. Osteoporosis, sarcopenia, osteosarcopenia, sarcoporosis.*

*Остеосаркопенія є поєднанням остеопорозу та саркопенії, яке було виділено, як окремий геріатричний синдром, що останнім часом привертає все більше уваги медичної спільноти. На жаль, сьогодні немає єдиних критеріїв щодо його визначення, що впливає на вивчення епідеміології та методів профілактики. Поєднання остеопорозу та саркопенії в одній особі асоційовано з підвищенням ризику падінь і переломів, зниженням функціональних можливостей та якості життя, зростанням ризику смертності, тому має вкрай важливе медико-соціальне значення. Мета. Проаналізувати сучасні літературні джерела, які вивчають остеосаркопенію, її поширеність, патогенез, фактори ризику та менеджмент. Методи. Огляд літератури здійснено в електронних наукометричних базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar із використанням ключових слів: «остеопороз», «саркопенія», «остеосаркопенія», «саркопороз» за 2019–2024 роки з додатковим включенням до аналізу більш ранніх робіт за умови їх визнаної наукової цінності. Розглянуто як когортні та проспективні дослідження, так і метааналізи й систематичні огляди. Результатом цієї роботи є уточнення термінології, визначення поширеності остеосаркопенії у світі, аналіз факторів ризику й основних ланок патогенезу, зокрема і в осіб із супутньою патологією (цукровий діабет, ожиріння тощо). Проаналізовані наукові роботи стосовно найбільш вивчених медикаментозних і немедикаментозних підходів у лікуванні остеосаркопенії з розглядом методів, які потребують подальшого вивчення для підтвердження своєї ефективності. Висновки. Ураховуючи поширеність остеосаркопенії та ризику, які пов'язані з нею, її подальше вивчення, зокрема й в українській популяції, є вкрай актуальним і потребує проведення нових науково-дослідних розробок для покращення менеджменту цього геріатричного синдрому.*

**Ключові слова.** Остеопороз, саркопенія, остеосаркопенія, саркопороз

## Вступ

Оскільки тривалість життя людини подовжилася унаслідок покращення побутових умов і розвитку медицини, у світовій популяції відбулось значне збільшення частки населення похилого віку. Згідно зі сучасними прогнозами, кількість осіб віком 60 років і старше зростатиме й надалі, з 1,1 млрд у 2023 до 1,4 млрд у 2030 році [1]. Отже, це сприятиме збільшенню кількості вікасоційованих захворювань і станів, тож їхнє дослідження стає все більш актуальним. Серед основних геріатричних синдромів виділяють когнітивні порушення, депресію, хронічний больовий синдром, поліпрагмазію, певні функціональні обмеження, нетримання сечі чи калу, запори, ортостатичну гіпотензію, синкопе, пролежні, порушення зору, слуху чи чутливості, падіння, синдром старечої слабкості (frailty), недостатнього харчування (мальнутриція) чи втрати м'язової маси та сили (саркопенія) [2–4]. Наявність останньої в комбінації з остеопорозом в однієї особи виділено в окремий геріатричний феномен, що об'єднали термінами «остеосаркопенія» (ОСП) чи «саркопороз» [6]. Проте на сьогодні єдиної думки у світі щодо визначення цього стану немає. Одні вчені визначають ОСП, як поєднання остеопорозу, інструментально підтвердженого за допомогою двохфотонної рентгенівської абсорбціометрії (ДРА) та саркопенії, інші — за наявності низької мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ, остеопенія чи остеопороз) та саркопенії чи в разі остеопоротичного малотравматичного перелому в поєднанні зі саркопенією [7–10].

ОСП становить загрозу для осіб похилого віку через зростання ризиків низки ускладнень, характерних для обох захворювань, тому потребує більшої уваги та глибокого вивчення. В останні роки з'являється все більше високоякісних досліджень, які вивчають цей синдром. На жаль, в україномовній літературі є лише поодинокі роботи [11, 12] щодо дослідження ОСП.

*Мета:* проаналізувати сучасні літературні джерела стосовно остеосаркопенії, її епідеміології, патогенезу, факторів ризику та можливих шляхів профілактики й лікування.

## Матеріал і методи

Огляд літературних джерел здійснено в електронних наукометричних базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar з використанням ключових слів: «остеопороз», «саркопенія», «остеосаркопенія», «саркопороз» за 2019–2024 роки з додатковим включенням до

аналізу більш ранніх робіт за умови їх визнаної наукової цінності. Проаналізовано як когортні та проспективні дослідження, так і метааналізи й систематичні огляди.

## Результати

### *Визначення остеосаркопенії*

Як зазначалось вище, ОСП об'єднує в собі два захворювання — саркопенію та остеопороз.

Уперше термін «саркопенія» запропоновано для опису втрати маси скелетних м'язів I. Rozenberg у 1989 році, а в 1998 році R. Baumgartner цей термін використав для характеристики синдрому, асоційованого з підвищеним ризиком падінь і фізичною слабкістю [13, 14]. Згідно з останніми європейськими рекомендаціями, наведеними Європейською робочою групою щодо вивчення саркопенії в осіб похилого віку (European Working Group on Sarcopenia in Older People, EWGSOP) у 2019 році — це прогресивне й генералізоване захворювання скелетних м'язів, асоційоване з підвищеним ризиком падінь, переломів, порушенням рухової активності та смертності [15].

Визначення «остеопорозу» вперше було запропоновано Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) у 1994 році [16]. Це захворювання характеризується зниженням щільності кісткової тканини та порушенням мікроархітекtonіки кісток і призводить до підвищення ризику падінь та переломів, і, як наслідок, до інвалідизації та зростання смертності [17].

Для опису поєднання остеопорозу та саркопенії G. Duque з колегами було вперше запропоновано використовувати термін «остеосаркопенія» [18]. Остання характеризується низькими показниками МЩКТ (за стандартами ВООЗ — остеопенія (згідно з оцінкою значень ДРА за Т-критерієм від  $-1$  до  $-2,5$  стандартних відхилень (SD)) чи остеопороз (Т-критерій  $\leq -2,5$  SD) чи наявності низькоенергетичного остеопоротичного перелому незалежно від стану кісткової тканини та низької м'язової маси й зниження її функції (саркопенії)), які встановлюють за допомогою критеріїв, пов'язаних із м'язовою масою, силою та функціональними можливостями досліджуваного.

Проте на сьогодні тривають дискусії щодо визначення ОСП й у роботах використовують різні критерії включення для ідентифікації хворих, що ускладнює порівняння її частоти та наслідків. Так, у метааналізі, проведеному N. Veronese та співавт. [7], для діагностики ОСП поєднують остеопороз і саркопенію зі залученням

загальноприйнятих критеріїв для їхнього встановлення. В іншому метааналізі, проведеному S. Chen та співавт., для розгляду застосовано інші критерії ОСП — поєднання саркопенії з низькими показниками МЩКТ (остеопенія чи остеопороз) чи саркопенії з остеопорозом [10]. У деяких публікаціях учені визначають ОСП, як комбінацію саркопенії та низької МЩКТ (остеопенії або остеопорозу) [19–23], тоді як інші науковці критеріями визначення ОСП вважають наявність саркопенії й остеопорозу [24–28].

Слід зазначити, що різними дослідниками використовуються не лише різні дані щодо оцінювання стану кісткової тканини (остеопенія, остеопороз чи малотравматичні переломи), але й різні критерії визначення саркопенії (EWGSOP, азійської робочої групи з вивчення саркопенії (Asian Working Group for Sarcopenia, AWGS), фонду національних інститутів здоров'я (Foundation for the National Institutes of Health Sarcopenia Project, FNIH), консорціуму щодо визначення та наслідків саркопенії (Sarcopenia Definitions and Outcomes Consortium, SDOC) тощо). Відмінності для визначення ОСП ускладнюють вивчення її епідеміології та потребують уніфікованого підходу, зокрема й для окреслення стратегій менеджменту та прогнозу.

#### *Епідеміологія остеосаркопенії*

За результатами метааналізу, проведеного N. Veronese та співавт., який включав 14 429 осіб (середній вік 70 років, 64,5 % жінок, критерії ОСП передбачали комбінацію остеопорозу за результатами ДРА та саркопенії), продемонстровано, що поширеність ОСП склала 12,72 % (95 % довірчий інтервал (ДІ): 9,65–15,78) [7]. В іншому спостереженні [10] проаналізовано дані 64 404 осіб віком від 46,6 до 93 років для виявлення загальної частоти ОСП серед дорослого населення у світі й використано різні комбінації критеріїв. Результати показали, що загальна поширеність цього синдрому становить 18,5 % (95 % ДІ: 16,7–20,3 %), зокрема 15,3 % (95 % ДІ: 13,2–17,4) у чоловіків та 19,4 % (95 % ДІ: 16,9–21,9) у жінок. Авторами виявлено достовірні відмінності розповсюдження ОСП серед осіб, які перебували у лікарнях (24,7 %) та проживали в громадах (12,9 %) ( $p = 0,001$ ). Використання різних критеріїв під час вивчення епідеміології ОСП істотно впливало на частоту діагностики синдрому. Так, за поєднання саркопенії з остеопенією чи остеопорозом поширеність становила 20,7 % (95 % ДІ: 17,1–24,4), а саркопенії лише з остеопорозом, підтвердженого результатами ДРА — 16,1 % (95 % ДІ: 13,3–18,9) [10].

Ще один метааналіз, в якому вивчено розповсюдження ОСП, проведений T. Huang та співавт. [29]. Проаналізовано 31 дослідження за участю 15 062 осіб віком від 64,1 до 84,8 років. Використовували такі діагностичні критерії саркопенії: 8 спостережень — AWGS, 16 — EWGSOP, 2 — FNIH, 3 — японського товариства гепатології (Japan Society of Hepatology, JSH), решта 2 — два інших набори діагностичних шкал. У 16 роботах ОСП вважали комбінацію саркопенії та низької МЩКТ, в 15 — за наявності остеопорозу та саркопенії. Проведено 13 досліджень в Азії, 8 у Європі, 6 в Океанії та 4 в Америці. Поширеність ОСП коливалась від 1,5 до 65,7 % із її загальним показником 21 % (95 % ДІ: 0,16–0,26). Серед жінок вона вища і становила 28 % (95 % ДІ 21–35 %), а чоловіків — 14 % (95 % ДІ: 9–20 %). Доведено, що вона більше розповсюджена серед населення європейських країн (26 %; 95 % ДІ 11–45 %), ніж серед азіатських (18 %; 95 % ДІ: 13–24 %). У Південній Америці вона вища (23 %; 95 % ДІ: 5–48 %), ніж у Північній (11 %; 95 % ДІ: 8–15 %), тоді як в Океанії становить 21 % (95 % ДІ: 10–34 %). Серед осіб, які проживали в громаді, поширеність ОСП була найнижчою (12 %; 95 % ДІ: 7–18 %), порівняно з тими, хто знаходився на стаціонарному (26 %; 95 % ДІ: 18–36 %) чи амбулаторному лікуванні (33 %; 95 % ДІ: 16–53 %) [29].

Гетерогенність результатів вищезазначених метааналізів щодо епідеміології ОСП, очевидно, пов'язана як з відмінностями включених в аналіз популяцій, дизайнами досліджень (когортні, перекресні), так і критеріями визначень ОСП.

За думкою деяких науковців, наявність остеопоротичного перелому є важливим критерієм ОСП. Так у дослідженні, проведеному V. Kirk і співавт. встановлено, що поширеність ОСП серед людей похилого віку, які проживають у громаді, варіює в межах 5–37 %, із найбільш значущими показниками в пацієнтів із переломами в анамнезі: ~46 % для осіб із малотравматичними переломами та від 17,1 до 96,3 % — із переломом стегнової кістки [9]. Критеріями включення у це дослідження було визначення ОСП, яке передбачало поєднання остеопенії чи остеопорозу за даними ДРА або наявного низькоенергетичного перелому незалежно від МЩКТ разом із саркопенією. У більш пізній роботі цього автора, яка включала 481 особу, що проживали в громаді (середній вік 78 років, 75,9 % жінки), для визначення розповсюдженості ОСП факторами включення були поєднання остеопорозу чи остеопенії та



саркопенії, діагностованих за критеріями SDOC чи EWGSOP2. Під час застосування перших для визначення саркопенії поширеність ОСП становила 37,2 %, а за других — 25,6 % [30].

Таким чином, на сьогодні результати окремих публікацій і метаналізів свідчать про значну варіабельність частоти ОСП, що викликано різними підходами в її визначенні. Наразі поширеність цього синдрому в Україні не вивчена, що вимагає проведення досліджень для визначення його медико-соціальної значущості в нашій державі.

#### *Патогенез остеосаркопенії*

Натепер накопичено низку доказів, які свідчать про тісний зв'язок між м'язами та кістками. Окрім механічного впливу, важливими є генетичні та молекулярні асоціації й вплив багатьох ендокринних чинників [31, 32].

Найбільш пояснюваним і вивченим є механічний фактор розвитку ОСП, оскільки така взаємодія між м'язом і кісткою є очевидною і підкреслюється гіпотезою «механостату». Згідно з цією теорією, м'яз діє на кістку механічною силою з певним порогом, який визначає активність процесу остеосинтезу чи резорбції. Збільшення м'язової маси призводить до розтягування колагенових волокон та окістя, що спричинює стимуляцію остеосинтезу. Зниження м'язової маси та, як наслідок, зменшення механічного впливу на кістку, відповідно активує процеси, які спричинюють зниження МЦКТ [33].

Крім того, оскільки м'язи та кістки походять із мезенхімальних стовбурових клітин, на них впливають однакові генетичні фактори [34]. Дослідження геномних асоціацій (Genome-wide association studies (GWAS)) підтверджують плейотропний вплив деяких генів на кістки та м'язи. Серед них гени фактора росту/диференціації 8 (GDF8), гліцин-N-ацилтрансферази (GLYAT), метилтрансферази-подібної 21 С (METTL21C), гамма-коактиватора 1-альфа (PGC-1 $\alpha$ ), фактора енхансера міоцитів-2 С (MEF2C), транскрипційного фактора 1, що зв'язує регуляторний елемент стеролу (SREBF1) та ін. [20, 35]. Також доведено, що поліморфізм рецепторів вітаміну D асоційований зі саркопенією та остеопорозом [36].

Зв'язок між кісткою та м'язовою тканиною може бути опосередкований завдяки низці аутокринних, ендокринних і паракринних механізмів. М'язи виділяють «міокіни» — фактори, які впливають на інші тканини, зокрема, й на метаболізм кістки. З іншого боку, чинники, синтезовані в кістковій тканині — «остеокіни» (зокрема, остеокальцин, остеопротегерин і склеростин),

мають регуляторний вплив на метаболізм м'язової тканини. Деякі міокіни (інсуліноподібний фактор росту-1, іризин, фолікулостимулюючий гормон, інтерлейкін (ІЛ)-15 та ін.) позитивно впливають на формування кісткової тканини, тоді як інші міокіни (міостатин, ІЛ-6) мають негативний регуляторний вплив на її ремоделювання [33, 37].

Міостатин (фактор росту та диференціювання 8) є добре дослідженим міокіном [38, 39], який гальмує ріст скелетних м'язів, а також впливає на сухожилки та кістки. Він не лише пригнічує диференціацію та ріст м'язів, сприяє розпаду білка, впливає на адипогенез та кісткове ремоделювання, а й є потужним антиостеогенним фактором і прямим модулятором диференціювання остеокластів. Міостатин може активувати сигнальні шляхи SMAD і протеїнкінази, пригнічуючи шлях Wnt/ $\beta$ -катеніну для синергічного регулювання росту та метаболізму м'язів і кісток і на сьогодні вивчається як терапевтична мішень для перешкодження утворенню остеокластів [39].

Таким чином, сучасні знання про патогенез ОСП дозволяють підтвердити складні взаємозв'язки між кістковою та м'язовою тканинами, а спільні гормональні та гуморальні медіатори є об'єктом вивчення, як терапевтичні мішені, щодо можливого лікування цього синдрому.

#### *Фактори ризику остеосаркопенії*

Останніми роками підвищений інтерес до ОСП серед дослідників-клініцистів привів до збільшення кількості публікацій щодо факторів її ризику. Як зазначалось вище, зв'язок між зниженням м'язової маси та низькою МЦКТ пояснюється механічним впливом м'язів на стимуляцію остеосинтезу та гуморальною залежністю м'язової та кісткової тканин. Тож зниження м'язової маси та наявність саркопенії є важливим фактором ризику остеопорозу, а отже й ОСП.

Цю тезу підтверджують численні дослідження. Так, у публікації D. Scott та співавт. із залученням 3 334 осіб (середній вік 70 років), підтверджено, що пацієнти зі саркопенією мали значно нижчу МЦКТ поперекового відділу хребта та стегнової кістки, дистального відділу променевої та великогомілкової кісток, ніж група без визначеної саркопенії та з імовірною її наявністю (усі  $p < 0,05$ ) [40]. Інші дослідження також підтверджують, що вірогідна й тяжка саркопенія були пов'язані з остеопорозом ( $p < 0,05$ ). Водночас встановлено зв'язок низької сили м'язів, яка вимірювалась за допомогою динамометрії кисті, та низької фізичної спроможності, оціненої 4-метровим тестом, з остеопорозом ( $p < 0,02$ ).

Низькі м'язова сила та фізична спроможність асоційовані не лише з остеопорозом ( $p < 0,001$ ), але й з остеопенією ( $p < 0,05$ ). Крім того, ймовірна саркопенія була пов'язана з остеопенією на рівні шийки стегнової кістки ( $p < 0,01$ ) [41].

Sung-Young Jang та співавт. виявили зв'язок низької м'язової маси з остеопорозом у поперековому відділі хребта та шийці стегнової кістки як у чоловіків (поперековий відділ хребта: відношення шансів (ВШ) = 1,73; 95 % ДІ: 1,08–2,76; шийка стегнової кістки: ВШ = 3,39; 95 % ДІ: 1,69–6,80), так і в жінок (поперековий відділ хребта: ВШ = 1,52; 95 % ДІ 1,17–1,97; шийка стегнової кістки: ВШ = 2,09; 95 % ДІ 1,56–2,80). Співвідношення низької м'язової маси й остеопорозу було достовірне у чоловіків і жінок у різних вікових групах, за винятком чоловіків віком 50–64 років [42].

У когортному ретроспективному дослідженні за участю 140 постменопаузальних жінок продемонстровано, що найбільш частими факторами ризику ОСП є недостатнє споживання білка (79,3 %) й надходження кальцію з їжею (65,7 %); низький рівень фізичної активності, визначений за допомогою SPPB-тесту (53,6 %); гіперліпідемія (33,6 %). Також встановлено, що показники динамометрії є визначальними для виникнення ОСП (відносний ризик (ВР) = 0,86; 95 % ДІ: 0,80–0,92), а зменшення сили кисті за умов використання ручного динамометра на одиницю збільшує ризик розвитку ОСП у 1,16 разу (95 % ДІ: 1,09–1,25) [19]. Подібні результати отримано і Т. Tiftik та співавт., які виявили зв'язок між низькими показниками динамометрії ( $< 22$  кг) та збільшенням ризику розвитку остеопорозу в 1,6 рази [43].

Фактори ризику, які впливають на розвиток ОСП, були досліджені також Т. Huang та співавт. [29]. Результати засвідчили, що жіноча стать (ВШ = 5,10; 95 % ДІ: 2,37–10,98;  $p < 0,0001$ ), похилий вік (ВШ = 1,12; 95 % ДІ: 1,03–1,21;  $p = 0,008$ ), переломи в анамнезі (ВШ = 2,92; 95 % ДІ: 1,62–5,25;  $p = 0,0003$ ) достовірно збільшують ризик розвитку ОСП, тоді як підвищений рівень паратиреоїдного гормону (ПТГ) (ВШ = 2,41; 95 % ДІ: 0,59–9,87;  $p = 0,22$ ) та високий індекс маси тіла (ІМТ) (ВШ = 1,01; 95 % ДІ: 0,63–1,62;  $p = 0,97$ ) не мали статистично значущого зв'язку з ОСП. З іншого боку, низький ІМТ виявився вагомим фактором, пов'язаним з розвитком ОСП, згідно з результатами ретроспективного дослідження Н. Okamura та співавт. (ВШ = 1,71; 95% ДІ: 1,46–2,00;  $p < 0,01$ ) у всіх вікових групах (65–74, 75–84 та 85 років і старше) [25].

У публікації Р. Suriyaarachchi та співавт. за участю 400 осіб (середній вік 79 років, 65 % жінок), повідомлено, що особи з підвищеним рівнем ПТГ у крові та нормальним кальцієм частіше зустрічались в групі з ОСП, ніж у групі без саркопенії та остеопенії (ВШ = 6,88; 95 % ДІ: 1,9–9,2) [23]. Це свідчить про те, що підвищений рівень ПТГ може бути фактором ризику розвитку ОСП, але це припущення потребує подальшого вивчення.

За результатами дослідження, проведеного за участю 2 353 австралійців, які проживають у громаді, визначено чинники ризику, асоційовані з ОСП, такі як відсутність фізичної активності (обернена залежність: 0,64; 95 % ДІ: 0,46–0,88), низький ІМТ (обернена залежність: для чоловіків 0,84; 95 % ДІ: 0,81–0,88 та жінок 0,77; 95 % ДІ 0,74–0,80), підвищений вміст жирової маси (для чоловіків 1,46; 95 % ДІ: 1,11–1,92 та жінок 2,25; 95 % ДІ 1,71–2,95) і похилий вік (серед чоловіків поширеність варіювала від 14,3 % у віковій групі 60–64 роки, до 59,4 % у віці 75 років і старше. У жінок відповідні показники склали від 20,3 до 48,3 %,  $p < 0,05$ ) [9].

#### *Остеосаркопенія та коморбідність*

#### *Остеосаркопенія й ожиріння*

Оскільки на сьогодні в наукових роботах [9] продемонстровано, що збільшення рівня жирової маси є фактором ризику ОСП, а жирові, м'язові та кісткові клітини походять із одних і тих самих мезенхімальних попередників, варто розглянути взаємозв'язок між жировою тканиною та ОСП.

Явище жирової інфільтрації кісток і м'язів є поширеним у пацієнтів з остеопорозом та саркопенією. Із віком склад тканин тіла змінюється зі загальним збільшенням відсотка жиру в організмі та зменшенням м'язової маси, загальна маса тіла при цьому може залишатися стабільною. Такий стан прийнято називати «саркопенічне ожиріння», а його наявність призводить до порушення функціональної здатності та зростання інвалідизації серед осіб старшого віку [44]. Саме тому останніми роками все ширше вивчають поєднання саркопенії, остеопорозу й ожиріння, як стану під назвою «остеосаркопенічне ожиріння».

На сьогодні відомо про захисний вплив жирової тканини на кісткову масу, який можна частково пояснити добре задокументованим зв'язком між рівнем екстрагландулярного синтезу естрогенів і кількістю адипоцитів. За думкою деяких авторів м'язова сила в осіб з ожирінням може бути більшою, як порівняти з людьми без нього. Це може свідчити про позитивний вплив надмірної

кількості жирової тканини на м'язи, пов'язаний із хронічним перевантаженням, що може збільшувати розмір і силу м'язів [44]. Так, у дослідженні Н. Okamura та співавт. жоден пацієнт із групи ОСП не мав ожиріння [25], що дотично могло б вказувати на відсутність його негативно-го впливу на розвиток ОСП та поодинокі випадки поєднання з ОСП. Але в спостереженні А. Polito за участю 1 344 постменопаузальних жінок віком 50 років і старше, розповсюдженість остеосаркопенічного ожиріння становила 32 % [45].

Результати перехресного дослідження зі залученням 542 осіб віком 21–90 років з Південно-Східної Азії, які проживали в громаді, підтвердили, що поширеність ОСП та остеосаркопенічного ожиріння склала 1,8 і 0 % в пацієнтів віком 21–59 років; 12,9 і 2,8 % обстежених віком  $\geq 60$  років; 17,3 і 4,1 %  $\geq 65$  років і 25,5 і 7,0 %  $\geq 75$  років відповідно [20]. Також було встановлено, що на ризик виникнення остеосаркопенічного ожиріння впливає не лише вік, стать, расова приналежність, але й вживання алкоголю. Проте воно не було достовірним предиктором зниження функціональної здатності обстежених осіб.

На тепер доведено, що гомеостаз кісткової та м'язової системи поєднаний з жировою тканиною через нейро-гуморальні зв'язки. Високий рівень жирової інфільтрації, який не залежить від ІМТ, є ліпотоксичним, впливаючи на функцію та структуру інших тканин. Ліпотоксичність і локальне запалення відбиваються на біосинтезі прозапальних цитокінів, зокрема ІЛ-6 та фактору некрозу пухлин  $\alpha$  [46]. Адипокіни, зокрема лептин, резистин, адипонектин, які вивільняються з жирової тканини, також здатні регулювати метаболізм як м'язів, так і кісток. Індукована фізичними вправами стимуляція біоактивних цитокінів через взаємодію м'язів, кісток і жиру посилює м'язовий анаболізм, утворення кісток, мітохондріальний біогенез, утилізацію глюкози й окислення жирних кислот, а також послаблює хронічне запалення. Водночас вивільнення ліполітичних міокінів (ІЛ-6, іризин та інгібуючий фактор лейкоцитів), яке індуковано фізичними вправами, активує термогенез, сприяючи перетворенню та потемнінню адипоцитів [37].

Тож поєднання ОСП з ожирінням продовжує викликати зацікавленість у науковій спільноті, що спонукає до появи нових досліджень щодо вивчення остеосаркопенічного ожиріння.

#### *Остеосаркопенія та цукровий діабет*

Останні роботи показали, що цукровий діабет 2 типу (ЦД2) є значущим фактором ризику

ОСП. А. Moretti та співавт. [47] у публікації «випадок-контроль» продемонстрували, що постменопаузальні жінки з ЦД2 мають ризик розвитку ОСП у 5 разів більший, як порівняти з особами без ЦД2 (50 проти 17 %; ВШ = 5,0; 95 % ДІ: 1,05–23,79;  $p = 0,04$ ), а сила кисті в них була значно нижчою ( $10,09 \pm 4,02$  кг проти  $18,40 \pm 6,83$  кг відповідно;  $p = 0,001$ ) [47].

Л. М. Pechmann та співавт. у спостереженні з включенням жінок і чоловіків із ЦД2 (середній вік  $65,1 \pm 8,2$  та  $68,8 \pm 11,0$  року) також підтвердили вищу поширеність ОСП (11,9 проти 2,14 % відповідно,  $p = 0,01$ ), саркопенії (12,9 проти 5,4 % відповідно,  $p < 0,03$ ) та переломів (29,9 проти 18,5 % відповідно,  $p = 0,02$ ) у хворих із ЦД2 порівняно з контрольною групою і нижчі показники сили кисті ( $24,4 \pm 10,3$  кг проти  $30,9 \pm 9,15$  кг відповідно,  $p < 0,001$ ). Середні значення показника трабекулярної кісткової тканини (Trabecular Bone Score, TBS) становили  $1,272 \pm 0,11$  і  $1,320 \pm 0,12$  відповідно ( $p = 0,001$ ). Згідно з проведеним мультифакторним аналізом, вік, більша окружність талії, переломи й остеопороз збільшували ризик низьких показників TBS. Також було встановлено, що ОСП асоціюється з ускладненнями ЦД2 ( $p = 0,03$ ), а не з його тривалістю чи контролем глікемії [48].

За результатами досліджень, висвітлених в систематичному огляді А. Polito та співавт., пацієнти з ЦД2, які страждають на ОСП, мають нижчий ІМТ, окружність талії, відсоток жиру в організмі та гіршу функцію  $\beta$ -клітин. Були зроблені висновки, що функція  $\beta$ -клітин може бути фактором протидії розвитку ОСП, а направленість на її збереження в осіб із ЦД2 є превентивним заходом щодо запобігання розвитку ОСП [45].

Отже, ураховуючи те, що ЦД2 має несприятливий вплив на здоров'я м'язів і кісток, що призводить до розвитку ОСП та, як наслідок, порушення функціональної здатності пацієнтів, постає необхідність у вчасному налагодженні алгоритмів виявлення такого стану, його лікування та профілактики.

#### *Остеосаркопенія та ризики падінь і переломів*

У дослідженні W. Sepúlveda-Loyola та співавт. за участю 253 осіб (77 % жінок; середній вік  $77,9 \pm 0,42$  року) продемонстровано достовірний зв'язок саркопенії з ризиком падінь, а ОСП, класифікована за наявності тяжкої саркопенії, достовірно призводила до збільшення частоти падінь (ВШ = 2,83–3,63;  $p < 0,05$ ) [8]. Подібні результати отримані й іншими дослідниками. Так, згідно з показниками спостереження В. Kirk та співавт.



наявність ОСП збільшує ризик падіння на 54 % (коефіцієнт ризику (КР) = 1,54; 95 % ДІ: 1,20–1,97) [9]. Ще більше зростання ризику падіння в осіб із ОСП продемонстровано в дослідженні Z. Teng та співавт. (ВШ = 1,62; 95 % ДІ: 1,28–2,04) [49].

З іншого боку, на сьогодні встановлено зв'язок ОСП із ризиком переломів. Захворювання класифіковано за наявності тяжкої саркопенії (згідно з визначенням EWGSOP2 і FNIIH) й призводило до збільшення частоти переломів (ВШ = 3,86–4,38;  $p < 0,05$ ) [8].

Суттєве підвищення ризику переломів за наявності ОСП виявлено в публікації В. Kirk і співавт. (КР = 2,13; 95 % ДІ: 1,61–2,81; об'єднані результати 7 досліджень) [9], тоді як у більш пізньому його спостереженні встановлено, що вірогідність повторних переломів ( $\geq 2$  проти 0–1) значно вища в осіб із ОСП, як порівняти з тими, хто мав остеопенією чи остеопороз незалежно від визначення, із поправкою на вік, стать, прийом алкоголю, паління, ІМТ, найнижчий Т-показник ДРА, фізичну активність і супутні захворювання (SDOC: ВШ = 1,63; 95 % ДІ: 1,03–2,59;  $p = 0,04$ ; EWGSOP2: ВШ = 1,83; 95 % ДІ: 1,12–3,01,  $p = 0,02$ ) [30]. Ще більше підвищення ризику переломів в осіб із ОСП продемонстровано в дослідженні Z. Teng та співавт. (ВШ = 2,46; 95 % ДІ: 1,83–3,30) [49].

#### *Остеосаркопенія та ризик смертності*

На сьогодні результати існуючих публікацій свідчать про те що ОСП не лише впливає на функціональну активність та якість життя хворих, але й збільшує ризик смертності.

Так, у метааналізі, проведеному N. Veronese та співавт. за участю 14 429 осіб (середній вік  $(70 \pm 6)$  років, 64,5 % жінки), встановлено, що ОСП достовірно підвищувала ризик смертності на 53 % (ВШ = 1,53; 95 % ДІ 1,28–1,78) [7].

Інші дослідники демонструють ще більші показники смертності у хворих на ОСП. У праці В. Kirk та співавт. підтверджено, що ОСП суттєво підвищує ризик смертності (КР = 1,75; 95 % ДІ: 1,34–2,28, аналіз за результатами 5 спостережень) [9]. Достовірне збільшення ризику смертності за наявності ОСП продемонстрували також результати дослідження Z. Teng та співавт. (ВШ = 1,66; 95 % ДІ: 1,23–2,26) [49]. Очевидно, що результати цих робіт важливо враховувати під час обстеження пацієнтів, щоб забезпечити вчасне виявлення та лікування ОСП. Крім того, доведені високі ризики падіння, переломів і смертності в осіб з ОСП, підкреслюють нагальність продовження вивчення цього синдрому з прицільною направленістю на його вчасну діагностику та лікування.

#### *Терапія остеосаркопенії*

Зараз для лікування ОСП використовують два підходи — немедикаментозний та медикаментозний.

Найбільш ефективним немедикаментозним є забезпечення раціональної фізичної активності, що доведено покращує міцність кісток [50] і м'язів [51]. Крім того, за думкою деяких дослідників, вживання харчових добавок, збагачених поживними речовинами, зокрема достатньою кількістю вітаміну D та білка, може покращити показники фізичної спроможності та бути дієвим інструментом для профілактики та лікування ОСП [36].

У рандомізованому контрольованому дослідженні FrOST (Franconian osteopenia and sarcopenia trial) оцінено вплив динамічних вправ з опором на лікування ОСП у чоловіків похилого віку. Для цього вивчено МЩКТ та індекс апендикулярної знежиреної маси (ІАЗМ) у 43 осіб віком 73–91 років, які вели малорухливий спосіб життя. Фізичні тренування в досліджуваній групі проводили на тренажерах із високою інтенсивністю, швидкістю й опором двічі на тиждень, а достатню кількість білка, кальцію та вітаміну D щодня отримували обидві групи (досліджувана та контроль). Після 12 міс. проведеного спостереження в групі з фізичними навантаженнями виявили збереження показників МЩКТ на рівні поперекового відділу хребта, тоді як у контрольній групі діагностовано її зниження ( $p < 0,001$ ; стандартизована середня різниця (SMD) = 0,90). Показник ІАЗМ у досліджуваній групі підвищився, тоді як у контрольній знизився ( $p < 0,001$ ; SMD = 1,95). МЩКТ проксимального відділу стегнової кістки достовірно не відрізнялися між групами ( $p = 0,06$ ; SMD = 0,65), тоді як зміни максимальної сили розгиначів стегна були істотними ( $p < 0,001$ ; SMD = 1,92) у групі зі застосуванням високоінтенсивних фізичних вправ з опором [51]. Результати цього рандомізованого дослідження свідчать про те, що динамічні вправи з опором можуть бути перспективним засобом для боротьби з ОСП.

Окремо слід зазначити, що стратегії, спрямовані на запобігання падінню у хворих із ОСП, також можуть мати важливе практичне значення. Вони можуть включати додавання вправ на тренування рівноваги, оцінювання безпеки та зниження ризиків падіння в оселі та використання допоміжних засобів, що їх зменшують. Проте ви-



сокоякісних робіт щодо вивчення цього питання в осіб із ОСП недостатньо.

На сьогодні велика увага приділяється розробці ефективності вжитку дієтичних стратегій, зокрема раціональному споживанню різних макро- та мікронутрієнтів як у менеджменті саркопенії, так і остеопорозу, проте досліджень, які б вивчали доцільність застосування цих стратегій у профілактиці ОСП немає.

Натепер доведено, що саплементация вітаміну D впливає на збільшення м'язової сили, зниження ризиків падінь і смертності, і цей зв'язок більш сильний у людей похилого віку й осіб, які мають дефіцит цього вітаміну. Для забезпечення підтримки здоров'я кісток і м'язів рекомендовано щоденне вживання вітаміну D<sub>3</sub> у дозі 800–1000 МО/д; кальцію 1300 мг/д; 1,2–1,5 г/кг білка/д (з 2,5–3 г лейцину на кожен прийом їжі) [9]. Усунення дефіциту вітаміну D в осіб старшого віку та раціональне його споживання за рахунок продуктів харчування чи дієтичних добавок може бути цінним інструментом у менеджменті ОСП.

Наразі результати деяких досліджень свідчать, що додавання креатину до тренування з опором збільшує приріст як сили м'яза, так і його маси, як порівняти з лише фізичними тренуваннями. У нещодавно опублікованому метааналізі рандомізованих клінічних досліджень продемонстрували позитивний вплив добавок креатину разом із тренуваннями з опором на збільшення сили як верхньої (4 дослідження,  $n = 97$ ,  $p = 0,05$ ), так і нижньої частини тіла (4 спостереження,  $n = 100$ ,  $p = 0,03$ ), як порівняти з контрольною групою, але за умови, що спостереження проводили не менше 24 тижнів [52]. І хоч цей напрямок потребує додаткових наукових підтверджень, добавки креатину також були запропоновані іншими авторами [9] для збільшення сили м'язів (3–5 г/д) в осіб похилого віку.

Імовірно, що комбінація високоінтенсивних фізичних навантажень з опором, вправ на рівновагу з додаванням протеїнових добавок до раціону, вживанням вітаміну D, кальцію та креатину може бути дієвим методом лікування ОСП у людей похилого віку, проте це питання потребує подальшого детального вивчення.

У літературних джерелах немає чітких стратегій для фармакотерапії ОСП, як і саркопенії. З іншого боку, для лікування остеопорозу та його ускладнень використовують як антирезорбенти (бісфосфонати, деносумаб, тощо), так і стимулятори кісткоутворення. Останнім часом

з'являються повідомлення, в яких підтверджують позитивний вплив антирезорбентів не лише на показники МЩКТ, але й на стан скелетних м'язів і ризик падінь, що може бути перспективним у лікуванні ОСП.

Так, у ретроспективному когортному дослідженні, проведеному T. Rupp та співавт. [53], продемонстровано позитивний вплив деносумабу не лише на показники МЩКТ, а й на зміну сили м'язів кистей ( $p < 0,001$ ), що відмічалось і в групі з використанням бісфосфонатів (алендронат та ібандронат) ( $p = 0,001$ ). Проте у хворих, які застосовували деносумаб, результати були кращими, ніж у разі використання бісфосфонатів чи плацебо (динаміка змін сили м'язів за рік у контрольній групі склала  $(-6,05 \pm 10,22)$  %; під час лікування бісфосфонатами  $(+0,78 \pm 8,23)$  %; деносумабом  $(+5,14 \pm 25,49)$  %). Крім того, лікування деносумабом приводило до кращих результатів тесту «сісти–встати» та значного збільшення сили нижніх кінцівок порівняно з групою, яка отримувала бісфосфонати (динаміка змін за рік склала в контрольній групі  $(+5,82 \pm 12,74)$  %; у групі хворих, які отримували бісфосфонати,  $(+0,95 \pm 8,61)$  %, деносумаб  $(+8,20 \pm 14,38)$  %). Проте динаміка показника часу під час виконання цього тесту не продемонструвала достовірних відмінностей між трьома групами [53].

Позитивний вплив деносумабу на силу м'язів нижніх кінцівок може пояснити зниження ризику падінь під час його використання, що підтверджують результати плацебо-контрольованого дослідження, проведеного P. Chotiarnwong і співавт. [54], проте цей зв'язок все ще потребує подальшого вивчення.

У проспективній роботі, проведений M. Pizzonia та співавт., за участю 98 пацієнтів старше 65 років з остеопоротичним переломом стегнової кістки порівняли вплив алендронової кислоти та деносумабу на показники МЩКТ, TBS та ІАЗМ. Згідно з отриманими результатами, ранню тенденцію до покращення МЩКТ та її якості спостерігали в групі, яка отримувала алендронову кислоту, як порівняти з особами, які приймали деносумаб (МЩКТ шийки стегнової кістки: 64,0 проти 46,7 %; усієї стегнової кістки: 68,0 проти 53,3 %; поперекового відділу хребта: 84,0 проти 53,3 %); TBS (48,0 проти 20 %, відповідно). Проте в групі, яка отримувала деносумаб, кращими були результати показника ІАЗМ [55].

У дослідженні N. Bonnet та співавт. оцінювали апендикулярну м'язову масу (АММ) та силу

кистей у жінок у постменопаузальному періоді, які лікували остеопороз протягом трьох років. Призначення як деносумабу, так і бісфосфонатів (алендронату та золендронату) привели до покращення МЩКТ, як порівняти з контрольною групою, в якій медикаменти не призначали (відповідно  $(0,12 \pm 0,29)$  г/см<sup>2</sup> та  $(0,04 \pm 0,12)$  г/см<sup>2</sup> проти  $(-0,07 \pm 0,19)$  г/см<sup>2</sup>, обидва показники  $p < 0,05$ ). На противагу цьому, лише в групі з використанням деносумабу відмічали збільшення АММ і збільшення сили обох кистей ( $(0,66 \pm 2,2)$  кг і  $(3,22 \pm 10,0)$  кг відповідно проти  $(-0,06 \pm 0,39)$  кг і  $(-0,07 \pm 6,6)$  кг із застосуванням бісфосфонатів; і  $(-0,36 \pm 1,03)$  кг і  $(-1,39 \pm 2,4)$  кг відповідно у пацієнтів без лікування, обидва показники  $p < 0,05$ ). Зміни МЩКТ і сили кисті корелювали зі змінами МЩКТ поперекового відділу хребта ( $r^2 = 0,82$  і  $r^2 = 0,81$ , обидва  $p < 0,001$ ) лише в групі, де використовувалася деносумаб [56].

Є небагато наукових джерел, які підтверджують позитивний вплив деносумабу на м'язову силу, але наявні дослідження спонукають до подальшого вивчення його механізмів для розширення можливостей медикаментозного лікування ОСП у майбутньому. А поєднання немедикаментозного та медикаментозного підходу в лікуванні, з індивідуальним підбором найбільш ефективного препарату, забезпечить найкращий результат у боротьбі з ОСП.

## Висновок

Ураховуючи старіння населення, яке прогресує, зазначимо, що ОСП становить значну проблему для багатьох країн світу, а ризики, пов'язані з цим синдромом, призводять до погіршення якості життя та створюють додаткове навантаження на систему охорони здоров'я. З огляду на механізми розвитку ОСП необхідно забезпечити мультидисциплінарний підхід для вчасного виявлення, ефективного лікування та профілактики цього важливого геріатричного синдрому. Кожен із цих напрямів потребує продовження науково-дослідних робіт для створення найближчим часом чітких протоколів і стандартизованих рекомендацій щодо ведення пацієнтів з ОСП та осіб із підвищеним ризиком її виникнення.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Аналіз наявних літературних джерел вказує на важливе медико-соціальне значення остеосаркопенії, проте дані щодо її епідеміології суперечливі, а ті, що стосуються її менеджменту — недостатні. Вищезазначене є підставою для подальших досліджень в Україні щодо вивчення епідеміології, факторів

ризиків остеосаркопенії та можливостей її профілактики та лікування.

**Інформація про фінансування.** Автори заявляють про відсутність фінансових інтересів під час проведення аналізу та написання статті.

**Внесок авторів.** Курило Д. Ю. — аналіз літературних джерел, написання тексту статті; Григор'єва Н. В. — ідея роботи, аналіз літературних джерел, редагування тексту.

## Список літератури

1. Ageing: Global population. World Health Organization (WHO). Results from the <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/population-ageing>.
2. Rosso, A. L., Eaton, C. B., Wallace, R., Gold, R., Stefanick, M. L., Ockene, J. K., Curb, J. D., & Michael, Y. L. (2013). Geriatric syndromes and incident disability in older women: Results from the Women's Health Initiative Observational Study. *Journal of the American geriatrics society*, 61(3), 371–379. <https://doi.org/10.1111/jgs.12147>
3. Greco, E. A., Pietschmann, P., & Migliaccio, S. (2019). Osteoporosis and Sarcopenia increase frailty syndrome in the elderly. *Frontiers in Endocrinology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00255>
4. Alhalaseh, L., Makahleh, H., Al-Saleem, B., Al-Omran, F., & Schoenmakers, B. (2024). Functional status in relation to common geriatric syndromes and Sociodemographic variables – A step forward towards healthy aging. *Clinical interventions in aging*, 19, 901–910. <https://doi.org/10.2147/cia.s462347>
5. Wang, L., Hu, Z., Chen, H., Tang, M., & Hu, X. (2024). Multiple geriatric syndromes in community-dwelling older adults in China. *Scientific reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54254-y>
6. Kirk, B., Al Saedi, A., & Duque, G. (2019). Osteosarcopenia: A case of geroscience. *Aging medicine*, 2(3), 147–156. <https://doi.org/10.1002/agm2.12080>.
7. Veronese, N., Ragusa, F. S., Sabico, S., Dominguez, L. J., Barbagallo, M., Duque, G., & Al-Daghri, N. (2024). Osteosarcopenia increases the risk of mortality: A systematic review and meta-analysis of prospective observational studies. *Aging clinical and experimental research*, 36(1). <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02785-9>
8. Sepúlveda-Loyola, W., Phu, S., Bani Hassan, E., Brennan-Olsen, S. L., Zanker, J., Vogrin, S., Conzade, R., Kirk, B., Al Saedi, A., Probst, V., & Duque, G. (2020). The joint occurrence of osteoporosis and Sarcopenia (Osteosarcopenia): Definitions and characteristics. *Journal of the American medical directors association*, 21(2), 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.09.005>
9. Kirk, B., Zanker, J., & Duque, G. (2020). Osteosarcopenia: Epidemiology, diagnosis, and treatment—facts and numbers. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 11(3), 609–618. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12567>
10. Chen, S., Xu, X., Gong, H., Chen, R., Guan, L., Yan, X., Zhou, L., Yang, Y., Wang, J., Zhou, J., Zou, C., & Huang, P. (2023). Global epidemiological features and impact of osteosarcopenia: A comprehensive meta-analysis and systematic review. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 15(1), 8–20. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13392>
11. Povoroznyuk, V., & Dzerovych, N. (2021). Sarcopenia, osteoporosis and its complications. *Pain, joints, spine*, (4.24), 7–11. <https://doi.org/10.22141/2224-1507.4.24.2016.94620>
12. Pivtorak, K., Monastyrskyi, V., Kuleshov, O., Kuleshov, I., & Pivtorak, N. (2022). Relationship between sarcopenia and osteoporosis in non-alcoholic fatty liver disease. *Georgian Med News*. (326), 12–17
13. Rosenberg, I. H. (1997). Sarcopenia: Origins and clinical relevance. *The journal of nutrition*, 127(5), 990S–991S. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.990S>

- doi.org/10.1093/jn/127.5.990s
14. Baumgartner, R. N., Koehler, K. M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S. B., Ross, R. R., Garry, P. J., & Lindeman, R. D. (1998). Epidemiology of Sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American journal of epidemiology*, 147(8), 755–763. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009520>
  15. Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., & Bauer, J., et al. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
  16. Kanis, J. A., & Kanis, J. A. (1994). Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Synopsis of a WHO report. *Osteoporosis International*, 4(6), 368–381. <https://doi.org/10.1007/bf01622200>
  17. Ensrud, K. E., & Crandall, C. J. (2024). Osteoporosis. *Annals of internal medicine*, 177(1), ITC1-ITC16. <https://doi.org/10.7326/aitc202401160>
  18. Hirschfeld, H. P., Kinsella, R., & Duque, G. (2017). Osteosarcopenia: Where bone, muscle, and fat collide. *Osteoporosis international*, 28(10), 2781–2790. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4151-8>
  19. Hamad, B., Basaran, S., & Coskun Benlidayi, I. (2019). Osteosarcopenia among postmenopausal women and handgrip strength as a practical method for predicting the risk. *Aging clinical and experimental research*, 32(10), 1923–1930. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01399-w>
  20. Pang, B. W., Wee, S., Chen, K. K., Lau, L. K., Jabbar, K. A., Seah, W. T., Ng, D. H., Tan, Q. L., Jagadish, M. U., & Ng, T. P. (2021). Coexistence of osteoporosis, sarcopenia and obesity in community-dwelling adults – The Yishun study. *Osteoporosis and sarcopenia*, 7(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.afos.2020.12.002>
  21. Scott, D., Seibel, M., Cumming, R., Naganathan, V., Blyth, F., Le Couteur, D. G., Handelsman, D. J., Waite, L. M., & Hirani, V. (2018). Does combined osteopenia/Osteoporosis and Sarcopenia confer greater risk of falls and fracture than either condition alone in older men? The Concord health and ageing in men project. *The journals of gerontology: series A*, 74(6), 827–834. <https://doi.org/10.1093/gerona/gly162>
  22. Pourhassan, M., Buehring, B., Stervbo, U., Rahmann, S., Mölder, F., Rütten, S., Trampisch, U., Babel, N., Westhoff, T. H., & Wirth, R. (2021). Osteosarcopenia, an asymmetrical overlap of two connected syndromes: Data from the OsteoSys study. *Nutrients*, 13(11), 3786. <https://doi.org/10.3390/nu13113786>
  23. Suriyaarachchi, P., Gomez, F., Curcio, C. L., Boersma, D., Murthy, L., Grill, V., & Duque, G. (2018). High parathyroid hormone levels are associated with osteosarcopenia in older individuals with a history of falling. *Maturitas*, 113, 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.04.006>
  24. Kobayashi, K., Imagama, S., Ando, K., Machino, M., Ota, K., Tanaka, S., Morozumi, M., Kanbara, S., Ito, S., Ishiguro, N., & Hasegawa, Y. (2019). Epidemiology and effect on physical function of osteosarcopenia in community-dwelling elderly people in Japan. *Modern rheumatology*, 30(3), 592–597. <https://doi.org/10.1080/14397595.2019.1623455>
  25. Okamura, H., Ishikawa, K., Kudo, Y., Matsuoka, A., Maruyama, H., Emori, H., Yamamura, R., Hayakawa, C., Tani, S., Tsuchiya, K., Shirahata, T., Toyone, T., Nagai, T., & Inagaki, K. (2020). Risk factors predicting osteosarcopenia in postmenopausal women with osteoporosis: A retrospective study. *Plos one*, 15(8), e0237454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237454>
  26. Reiss, J., Iglseider, B., Alzner, R., Mayr-Pirker, B., Pirich, C., Kässmann, H., Kreutzer, M., Dovjak, P., & Reiter, R. (2019). Sarcopenia and osteoporosis are interrelated in geriatric inpatients. *Zeitschrift für gerontologie und geriatrie*, 52(7), 688–693. <https://doi.org/10.1007/s00391-019-01553-z>
  27. Okayama, A., Nakayama, N., Kashiwa, K., Horinouchi, Y., Fukusaki, H., Nakamura, H., & Katayama, S. (2022). Prevalence of Sarcopenia and its association with quality of life, postural stability, and past incidence of falls in postmenopausal women with osteoporosis: A cross-sectional study. *Healthcare*, 10(2), 192. <https://doi.org/10.3390/healthcare10020192>
  28. Chew, J., Yeo, A., Yew, S., Tan, C. N., Lim, J. P., Hafizah Ismail, N., & Lim, W. S. (2020). Nutrition mediates the relationship between Osteosarcopenia and frailty: A pathway analysis. *Nutrients*, 12(10), 2957. <https://doi.org/10.3390/nu12102957>
  29. Huang, T., Li, C., Chen, F., Xie, D., Yang, C., Chen, Y., Wang, J., Li, J., & Zheng, F. (2023). Prevalence and risk factors of osteosarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-023-04085-9>
  30. Kirk, B., Zhang, S., Vogrin, S., Harijanto, C., Sales, M., & Duque, G. (2022). Comparing the fracture profile of Osteosarcopenic older adults with osteopenia/Osteoporosis alone. *Calcified tissue international*, 112(3), 297–307. <https://doi.org/10.1007/s00223-022-01044-1>
  31. Trajanoska, K., Rivadeneira, F., Kiel, D. P., & Karasik, D. (2019). Genetics of bone and muscle interactions in humans. *Current osteoporosis reports*, 17(2), 86–95. <https://doi.org/10.1007/s11914-019-00505-1>
  32. Tarantino, U., Greggi, C., Visconti, V. V., Cariati, I., Bonanni, R., Gasperini, B., Nardone, I., Gasbarra, E., & Iundusi, R. (2022). Sarcopenia and bone health: New acquisitions for a firm liaison. *Therapeutic advances in musculoskeletal disease*, 14. <https://doi.org/10.1177/1759720x221138354>
  33. Frost, H. M. (2003). Bone's mechanostat: A 2003 update. *The anatomical record part A: discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology*, 275A (2), 1081–1101. <https://doi.org/10.1002/ar.a.10119>
  34. Paintin, J., Cooper, C., & Dennison, E. (2018). Osteosarcopenia. *British journal of hospital medicine*, 79(5), 253–258. <https://doi.org/10.12968/hmed.2018.79.5.253>
  35. Yu, C., Du, Y., Peng, Z., Ma, C., Fang, J., Ma, L., Chen, F., Zhang, C., Geng, R., Zhang, Y., Han, X., Li, J., Lv, Y., & Lu, S. (2023). Research advances in crosstalk between muscle and bone in osteosarcopenia (Review). *Experimental and therapeutic medicine*, 25(4). <https://doi.org/10.3892/etm.2023.11888>
  36. Clynes, M. A., Gregson, C. L., Bruyère, O., Cooper, C., & Dennison, E. M. (2020). Osteosarcopenia: Where osteoporosis and sarcopenia collide. *Rheumatology*, 60(2), 529–537. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keaa755>
  37. Kirk, B., Feehan, J., Lombardi, G., & Duque, G. (2020). Muscle, bone, and fat crosstalk: The biological role of Myokines, Osteokines, and Adipokines. *Current osteoporosis reports*, 18(4), 388–400. <https://doi.org/10.1007/s11914-020-00599-y>
  38. Esposito, P., Picciotto, D., Battaglia, Y., Costigliolo, F., Viazzzi, F., & Verzola, D. (2022). Myostatin: Basic biology to clinical application. *Advances in clinical chemistry*, 181–234. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2021.09.006>
  39. Cui, Y., Yi, Q., Sun, W., Huang, D., Zhang, H., Duan, L., Shang, H., Wang, D., & Xiong, J. (2020). Molecular basis and therapeutic potential of myostatin on bone formation and metabolism in orthopedic disease. *BioFactors*, 49(1), 21–31. <https://doi.org/10.1002/biof.1675>
  40. Scott, D., Johansson, J., McMillan, L. B., Ebeling, P. R., Nordstrom, P., & Nordstrom, A. (2019). Associations of Sarcopenia and its components with bone structure and incident falls in Swedish older adults. *Calcified tissue international*, 105(1), 26–36. <https://doi.org/10.1007/s00223-019-00540-1>
  41. Ontan, M. S., Dokuzlar, O., Ates Bulut, E., Soysal, P., & Isik, A. T. (2021). The relationship between osteoporosis and sarcopenia, according to EWGSOP-2 criteria, in outpatient elderly. *Journal of bone and mineral metabolism*, 39(4), 684–692. <https://doi.org/10.1007/s00774-021-01213-6>
  42. Jang, S., Park, J., Ryu, S., & Choi, S. (2020). Low muscle mass is associated with osteoporosis: A nationwide population-based study. *Maturitas*, 133, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.01.003>



43. Tiftik, T., Kara, M., Koyuncu, E. G., Kaymak, B., Çelik, Ö. F., Çiftçi, İ., Korkmaz, G. O., Analay, P., Aksakal, M. F., Ocağ, H., Mülkoğlu, C., Genç, H., Akıncı, A., & Özçakar, L. (2022). The relationship between sarcopenia-related measurements and osteoporosis: *The SARCOP study. Osteoporosis International*, 34(1), 53–58. <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06563-z>
44. Clynes, M. A., Gregson, C. L., Bruyère, O., Cooper, C., & Dennison, E. M. (2020). Osteosarcopenia: Where osteoporosis and sarcopenia collide. *Rheumatology*, 60(2), 529–537. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keaa755>
45. Polito, A., Barnaba, L., Ciarapica, D., & Azzini, E. (2022). Osteosarcopenia: A narrative review on clinical studies. *International journal of molecular sciences*, 23(10), 5591. <https://doi.org/10.3390/ijms23105591>
46. Hirschfeld, H. P., Kinsella, R., & Duque, G. (2017). Osteosarcopenia: Where bone, muscle, and fat collide. *Osteoporosis international*, 28(10), 2781–2790. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4151-8>
47. Moretti, A., Palomba, A., Gimigliano, F., Paoletta, M., Liguori, S., Zanfardino, F., Toro, G., & Iolascon, G. (2022). Osteosarcopenia and type 2 diabetes mellitus in post-menopausal women: A case-control study. *Orthopedic Reviews*, 14(6). <https://doi.org/10.52965/001c.38570>
48. Pechmann, L. M., Petterle, R. R., Moreira, C. A., & Borba, V. Z. (2021). Osteosarcopenia and trabecular bone score in patients with type 2 diabetes mellitus. *Archives of endocrinology and metabolism*. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000418>
49. Teng, Z., Zhu, Y., Teng, Y., Long, Q., Hao, Q., Yu, X., Yang, L., Lv, Y., Liu, J., Zeng, Y., & Lu, S. (2021). The analysis of osteosarcopenia as a risk factor for fractures, mortality, and falls. *Osteoporosis international*, 32(11), 2173–2183. <https://doi.org/10.1007/s00198-021-05963-x>
50. Kemmler, W., Shojaa, M., Kohl, M., & Von Stengel, S. (2020). Effects of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Calcified tissue international*, 107(5), 409–439. <https://doi.org/10.1007/s00223-020-00744-w>
51. Kemmler, W., Kohl, M., Fröhlich, M., Jakob, F., Engelke, K., Von Stengel, S., & Schoene, D. (2020). Effects of high-intensity resistance training on osteopenia and Sarcopenia parameters in older men with Osteosarcopenia—one-year results of the randomized controlled Franconian osteopenia and Sarcopenia trial (Frost). *Journal of bone and mineral research*, 35(9), 1634–1644. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4027>
52. Dos Santos, E. E., De Araújo, R. C., Candow, D. G., Forbes, S. C., Guijo, J. A., De Almeida Santana, C. C., Prado, W. L., & Botero, J. P. (2021). Efficacy of creatine supplementation combined with resistance training on muscle strength and muscle mass in older females: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 13(11), 3757. <https://doi.org/10.3390/nu13113757>
53. Rupp, T., Von Vopelius, E., Strahl, A., Oheim, R., Barvencik, F., Amling, M., & Rolvien, T. (2022). Beneficial effects of denosumab on muscle performance in patients with low BMD: A retrospective, propensity score-matched study. *Osteoporosis international*, 33(10), 2177–2184. <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06470-3>
54. Chotiyarnwong, P., McCloskey, E., Eastell, R., McClung, M. R., Gielen, E., Gostage, J., McDermott, M., Chines, A., Huang, S., & Cummings, S. R. (2020). A pooled analysis of fall incidence from placebo-controlled trials of Denosumab. *Journal of bone and mineral research*, 35(6), 1014–1021. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3972>
55. Pizzonia, M., Casabella, A., Natali, M., Petrocchi, L., Carmisciano, L., Nencioni, A., Molfetta, L., Giannotti, C., Bianchi, G., Giusti, A., Santolini, F., & Monacelli, F. (2021). Osteosarcopenia in very old age adults after hip fracture: A real-world therapeutic standpoint. *Frontiers in Medicine*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.612506>
56. Bonnet, N., Bourgoin, L., Biver, E., Douni, E., & Ferrari, S. (2019). RANKL inhibition improves muscle strength and insulin sensitivity and restores bone mass. *Journal of clinical investigation*, 129(8), 3214–3223. <https://doi.org/10.1172/jci125915>

Стаття надійшла до редакції 03.02.2025	Отримано після рецензування 15.02.2025	Прийнято до друку 16.02.2025
---	---	---------------------------------

## OSTEOSARCOPENIA: EPIDEMIOLOGY, RISK FACTORS AND MODERN MANAGEMENT STRATEGIES

D. Yu. Kurylo, N. V. Grygorieva

State Institution «D. F. Chebotarev Institute of Gerontology of the NAMS Ukraine», Kyiv

✉ Darina Kurylo: kurilodarina@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0005-8075-2644A>

✉ Nataliia Grygorieva, MD, Prof.: crystal\_ng@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4266-461X>



УДК 616.728.2-007.2-089.28-005.1-08-07-084:615.273.53

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720251107-113>

## Порушення функціонування системи гемостазу у хворих на коксартроз III–IV стадій після операцій тотального ендопротезування кульшового суглоба (огляд літератури)

**О. В. Висоцький**

КНП «Херсонська обласна клінічна лікарня». Україна

*Objective.* To analyze the current state of diagnosis and prevention of hemostatic disorders in patients with Kellgren-Lawrence grade III-IV coxarthrosis after total hip arthroplasty based on scientific literature. *Methods.* A search was performed in PubMed, Web of Science, Google Scholar and Scopus. Using MeSH and keywords such as: "inflammatory markers", "coxarthrosis", "thromboembolism", "tranexamic acid", "anticoagulants", "inflammation", "fibrinolysis", "D-dimer", "arthroplasty", "hypercoagulability", "plasminogen". *Results.* An important issue in the prevention of thromboembolic complications during total hip arthroplasty is to determine the dynamics of fibrinolysis disorders. Thus, it was found that hip arthroplasty is characterized by an increase in inflammatory markers in the blood and hemostatic disorders. *Conclusions.* In clinical orthopedics, after hip arthroplasty in patients with coxarthrosis of III-IV stages, complications often occur in the form of hemostatic disorders, which are accompanied by the development of deep vein thrombosis of the extremities, in severe cases — pulmonary embolism. These complications are monitored based on the results of determining the markers of the hemostatic system, which are examined before and after surgery. It has been proven that there are many different factors that affect the development of hemostatic disorders in the body. The age factor, as elderly patients have their own metabolic characteristics and altered rheological properties of blood. Increased body weight, in particular, obesity, is also an important factor that cannot be ignored in clinical practice. To date, clear clinical and laboratory criteria for assessing the hemostatic system and a list of biochemical markers of connective tissue to monitor the condition of patients before and after joint replacement in the context of modern anticoagulant regimens remain to be defined. *Keywords.* Hemostasis, endoprosthesis, hip joint, thromboembolism, plasminogen

*Meta.* На основі досліджень наукової літератури проаналізувати сучасний стан діагностики та профілактики порушень у системі гемостазу у хворих із коксартрозом III–IV ст. за Kellgren-Lawrence після операцій тотального ендопротезування кульшового суглоба. *Методи.* Здійснено пошук у PubMed, Web of Science, Google Scholar і Scopus. З використанням MeSH і ключових слів, таких як: «маркери запалення», «коксартроз», «тромбоемболія», «транексामова кислота», «антикоагулянти» «запалення», «фібриноліз», «Д-димер», «ендопротезування», «гіперкоагуляція», «плазміноген». *Результати.* Важливим питанням профілактики тромбоемболічних ускладнень під час тотального ендопротезування кульшових суглобів є визначення динаміки порушень фібринолізу. Встановлено, що ендопротезування кульшового суглоба характеризується збільшенням маркерів запалення в крові та порушенням гемостазу. *Висновки.* У клінічній ортопедії після операцій ендопротезування кульшових суглобів у хворих із коксартрозом III–IV стадій часто виникають ускладнення у вигляді порушень системи гемостазу, які супроводжуються розвитком тромбозу глибоких вен кінцівок, у важких випадках — тромбоемболією легеневої артерії. Контроль цих ускладнень проводиться за результатами визначення маркерів системи гемостазу, які досліджуються до та після оперативного втручання. Доведено, що існує велика кількість різноманітних чинників, які впливають на розвиток порушень системи гемостазу в організмі. Віковий фактор, адже пацієнти похилого віку мають власні особливості метаболізму, а також змінні реологічні властивості крові. Збільшення маси тіла, зокрема, ожиріння, також є важливим чинником, який не можна не враховувати в клінічній практиці. На сьогодні залишаються не до кінця визначені чіткі клініко-лабораторні критерії оцінювання системи гемостазу та перелік біохімічних маркерів сполучної тканини для контролю стану пацієнтів до та після ендопротезування суглобів на фоні застосування сучасних схем призначення антикоагулянтів.

**Ключові слова.** Гемостаз, ендопротезування, кульшовий суглоб, тромбоемболія, плазміноген

## Вступ

Тотальне ендопротезування кульшового суглоба є ефективним методом лікування хворих із коксартрозом III–IV ст. за Kellgren-Lawrence, бо дозволяє в 85–95 % отримати позитивні результати й відновити опорно-кінематичну функцію нижніх кінцівок [1]. Проте під час виконання таких операцій в 24–62 % виникають тяжкі тромбоемболічні ускладнення (тромбози глибоких вен, тромбоемболії легеневих артерій). Отже контроль крововтрати є важливим аспектом ортопедичної хірургії [2]. Доведено, що геморагічний шок від травми є причиною смертності як у військових, так і в цивільного населення. Також відомо, що ефективний гемостаз під час оперативного втручання суттєво важливий для лікаря, оскільки запобігає дифузній кровотечі з капілярів і венул, які закривають хірургічне поле та збільшують час операції та ризик інфікування [3].

Дослідження порушень системи гемостазу у хворих після операцій тотального ендопротезування суглобів наразі є актуальним і потребує подальшого вивчення [2–6].

*Мета:* на основі досліджень наукової літератури проаналізувати сучасний стан діагностики та профілактики порушень у системі гемостазу у хворих із коксартрозом III–IV ст. за Kellgren-Lawrence після операцій тотального ендопротезування кульшового суглоба.

## Матеріал і методи

Здійснено пошук у PubMed, Web of Science, Google Scholar і Scopus. З використанням MeSH і ключових слів, таких як: «маркери запалення», «коксартроз», «тромбоемболія», «транексамова кислота», «антикоагулянти» «запалення», «фібриноліз», «Д-димер», «ендопротезування», «гіперкоагуляція», «плазміноген». Вивчено публікації та метааналізи стосовно функціонування системи гемостазу в пацієнтів після ендопротезування. Критеріями дослідження були оригінальні та клінічні дослідження, викладені англійською мовою, високий рівень доказовості, рік публікації (2012–2025 р.).

Загалом шляхом пошуку літератури в електронних базах виявлено 1 723 джерела, під час детального перегляду із них відібрано 73 потенційно придатних публікацій. Зрештою після додаткового аналізу залишено 46 робіт.

## Результати та їх обговорення

Під час ендопротезування суглобів для отримання задовільних результатів операції особливо важливою є локалізація кровотечі. Ураховуючи, що

кровотечі як з інтрамедулярних каналів, так і кісткові поверхневі дуже складно зупинити механічними способами, використання фармакологічних засобів (епінефрин, десмопресин, транексамова кислота, амінокапронова кислота й ін.) може бути доцільним доповненням під час їх усунення [3, 7].

Фібринолітична система крові бере участь у гемостазі, видаляючи тромби після відновлення ушкодження судин. Протягом останніх років вчені оцінювали ефективність і безпеку антифібринолітичних засобів у зниженні періопераційної кровотечі [8–10].

Серед деяких станів, які, вочевидь, потребують застосування антифібринолітичних препаратів є травма, післяпологова кровотеча, кардіохірургія, хірургія хребта, ендопротезування колінного або кульшового суглоба [11–23]. Наразі існує небагато досліджень щодо періопераційних особливостей фібринолітичної системи. Описано фізіологію фібринолізу, її зв'язок зі структурою тромбу та періопераційну підготовку [24]. Патофізіологічні механізми, пов'язані з клінічною практикою, та їхні можливі дизайни розглядаються відповідно до запропонованої класифікації [25]. На сьогодні потрібно надати лікарям ширше розуміння нормального функціонування фібринолізу, механізмів можливих відхилень від норми в періопераційному періоді, патофізіологічного обґрунтування, що підтверджує поточні показання до антифібринолітиків і деяких нещодавніх результатів, отриманих під час їх застосування [26–28].

Важливим питанням профілактики тромбоемболічних ускладнень під час тотального ендопротезування кульшових суглобів є визначення динаміки порушень фібринолізу. Під час їх діагностики вивчають рівень фібринолітичної активності, показники продукції деградації фібрину та результати тромбоеластографії, які є визначальними для призначення терапії з метою запобігання тромбозу. У пацієнтів, яким виконували ендопротезування брали кров для дослідження рівню Д-димеру та продуктів деградації фібрину перед, під час та після оперативного втручання через 6, 12, 24 та 48 год. Показники тромбоеластографії та рівень Д-димеру мали кореляцію з коагуляцією та даними фібринолізу, усі були в межах норми, хоча й вище ніж до оперативного втручання. Крім того, динаміка Д-димеру та продуктів деградації фібрину мала кореляцію з крововтратою під час операції. У результаті виявлено, що саме вони є досить ефективними й інформативними діагностичними показниками для прогнозування фібринолітичної активності в післяопераційний період, зокрема, через 6 год після втручання [29].

Крім того, післяопераційні ускладнення, такі як венозна тромбоемболія, цереброваскулярні та серцеві захворювання, були основними джерелами ризику смертності в ранньому післяопераційному періоді [30–33]. Тому гострий тромбоз глибоких вен є абсолютним протипоказом для планового ендопротезування кульшового чи колінного суглобів. Хірургічне втручання може змістити існуючі тромби, що призведе до потенційно небезпечних для життя ускладнень, таких як тромбоемболія легеневої артерії.

У наступних дослідженнях визначали маркери запалення після ендопротезування кульшових суглобів. Було обстежено 70 осіб різної статі, середній вік яких склав ( $68,4 \pm 10,9$ ) року. Маркери запалення визначали до, на наступний день, а також через 5 днів після операції. Отже, після оперативного втручання виявлено їхнє суттєве підвищення, зокрема, С-реактивного білка майже в 10 разів. Інтерлейкін-6 значно підвищився через день після операції, але знизився на 5-ту добу. Кількість лейкоцитів і співвідношення нейтрофілів та лімфоцитів, а також тромбоцитів і лімфоцитів було значно підвищене, як порівняти з показниками до операції. Таким чином, встановлено, що артропластика кульшового суглоба характеризується збільшенням маркерів запалення в крові та порушенням гемостазу. З огляду на це виявили, що визначення їхньої кількості може бути інформативним під час спостереження пацієнтів із ризиком кардіоваскулярних тромбоемболічних ускладнень [34–35].

F. Hartono та співавт. оцінювали клінічне значення тромбозу глибоких вен після тотального ендопротезування кульшового та колінного суглобів, який супроводжувався метаболічними змінами біохімічних маркерів — колагену I та IV типів, тканинного фактора, P-селектину та оксиду азоту. Хворих розподілено на 3 групи: у першій проводили тотальне ендопротезування, у другій — геміартропластику, у третій — відкриту редуційну внутрішню фіксацію. У всіх групах пацієнтів тромбопрофілактика не проводилась. Аналіз крові проведено на 3 та 6-ту добу після втручання. Виявлено тромбоз глибоких вен, який підтверджувався ультразвуковою доплеро- та венографією через 6 днів після операції. У 18 осіб діагностовано тромбоз глибоких вен (10 — після тотальної артропластики, 5 — геміартропластики, 3 — відкритої редуційної внутрішньої фіксації). Таким чином, виявили, що ризики виникнення цього ускладнення у хворих після тотального ендопротезування в 3,5 разу вищий ніж унаслідок відкритої реду-

ційної внутрішньої фіксації. Причому біомаркери (колаген I типу) та оксид азоту зазнали змін уже через 3 доби після операції. У цьому спостереженні встановили, що травматизація метаепіфізарної губчастої кісткової тканини суглобів впливає на частоту виникнення тромбозу глибоких вен, що підтверджується збільшенням біохімічних маркерів. Через 3 доби після оперативного втручання вони стали найінформативнішими для передбачення розвитку тромбозу. Інші біохімічні показники, які використовувались у дослідженні (колаген IV типу, тканинний фактор та P-селектин), не мали діагностичного значення. Також автори наголошують на потребі в проведенні подальших досліджень за цією темою [36].

O. E. Dahl і співавт. у своїй праці акцентують увагу на те, що імплантація кульшового суглоба зі застосуванням кісткового цементу інтраопераційно впливає на розвиток кардіоваскулярних і судинних ускладнень. Вони довели, що у пацієнтів після протезування з використанням цементу часто по смертності виявляли мікроемболії та відкладання фібрину в легенях. Причинами таких змін є, очевидно, запуск механізму гіперкоагуляції та місцева реакція на метилметакрилат, на основі якого створюють кістковий цемент. У місці імплантації утворюється значна кількість токсичних речовин, які разом із фрагментами клітин вивільнюються ушкодженими тканинами. Ці фрагменти транспортуються кров'ю в легенеvu тканину, де відбувається їхня акумуляція з розвитком порушень мікроциркуляції й утворенням емболів. Таким чином, у легенях виникає порушення кровообігу зі супутньою гіперкоагуляцією, що може спричинити значні порушення функціонування різних органів і тканин із впливом на головний мозок, серцево-судинну систему, нирковий кровообіг, а також призвести до порушень гемодинаміки. У низки пацієнтів ці зміни ведуть до летальних наслідків, зокрема це стосується осіб похилого віку з переломами шийки стегнової кістки. Отже патофізіологічні механізми, які полягають в основі вищерозглянутих порушень під час цементного ендопротезування кульшових суглобів, можуть мати важкі наслідки у вигляді гіперкоагуляційних ускладнень через руйнування клітин і токсичних реакцій на кістковий цемент, які пов'язані також із вазоактивними речовинами [37].

A. A. Abedi зі співавт вказують, що ризик венозної тромбоемболії (ВТЕ) підвищується після тотального ендопротезування кульшового та колінного суглобів. Хоча більшість схем профілактики ВТЕ призначаються після операції,

активація системи згортання крові починається ще під час втручання. За протезування, після розсвердлювання стегнової кістки для встановлення протеза, вона проявляється підвищенням рівнів тромбін-антитромбінового комплексу, фрагмента протромбіну 1+2, пептиду фібриногену А та Д-димеру. Інтраопераційний гепарин значно знижує рівень фібринопептиду А і протромбіну F1.2, що вказує на зменшення синтезу тромбіну і фібрину, але не впливає на тромбін-антитромбіновий комплекс [38].

F. J. Conway зі співавт. дослідили роль вітаміну С у розвитку патології сполучної тканини та гемостазу після ендпротезування кульшового суглоба. Аскорбінова кислота є відомим водорозчинним вітаміном, який має багато різноманітних метаболічних функцій в організмі людини. Зокрема, їй притаманні властивості універсального антиоксиданту, здатного захищати клітини від ушкодження, а також вплив на гемостаз. Крім того, вітамін С бере участь у синтезі деяких гормонів, колагену, карнітину, а також утворенні солей жовчних кислот і впливає на нормальне засвоєння організмом людини заліза. Існують також публікації, які доводять, що є кореляція між вмістом у плазмі крові людини аскорбінової кислоти та системним запальним процесом, що контролюється концентрацією в крові С-реактивного білка. Виявлено зміни вмісту вітаміну С та токоферолу в крові пацієнтів та їхнього кореляційного зв'язку з ушкодженням тканин вільними радикалами як компонентів системного запалення. Упродовж спостереження виконували аналіз крові через 1, 2, 3 та 90 діб після ендпротезування кульшового суглоба. У ній визначали такі біохімічні маркери, як аскорбінова кислота, малоновий діальдегід, холестерол, С-реактивний білок, токоферол і рівень альбумінів. Виявлено значне зниження в крові вмісту вітаміну С — на 74, токоферолу — на 36, холестеролу — на 40, малонового діальдегіду — на 38, альбумінів — на 29 %. Водночас вміст С-реактивного білка збільшився аж у 160 разів за рахунок системного запального процесу після оперативного втручання. Через 3 міс. після операції всі показники, які аналізували на початку дослідження, повернулись до своїх попередніх значень. У підсумку з'ясували, що вміст аскорбінової кислоти може бути важливим та інформативним біохімічним маркером у разі розвитку важкої системної запальної відповіді в пацієнтів після хірургічних втручань щодо ендпротезування кульшових суглобів. Отже, зниження в крові вмісту вітаміну С вочевидь пов'язане з його використанням організмом як антиоксиданту для підтримки регенератор-

ної здатності тканин та відновлення ушкодження під час втручання, яке спричинило важку системну запальну реакцію [39].

N. Guler і співавт. дослідили механізми порушень фібринолізу в пацієнтів після тотального ендпротезування кульшового суглоба, що, на їхню думку, залишається не до кінця вивченим питанням. Як відомо, порушення фібринолітичної ланки гемостазу за різних запальних процесів та їхня активація після оперативних втручань не завжди є досить патогенетично обґрунтованою. З'ясували порушення системи фібринолізу в пацієнтів в перші 24 год після оперативного втручання щодо тотального ендпротезування кульшового суглоба. Вони можуть призводити в клінічній практиці як до розвитку тромбозів, так і кровотеч. Вивчали історію хвороб 98 пацієнтів, яким проводили ендпротезування. Серед показників фібринолізу визначали Д-димер та інгібітор активатора плазміногену, а також тканинний активатор плазміногену за допомогою методу імуноферментного аналізу, також вивчали показник антиплазміну. Виявлено, що рівень маркерів фібринолізу, окрім антиплазміну, перед операцією був значно вищий у пацієнтів порівняно з клінічно здоровими особами. Проте відсоток антиплазміну перед операцією був нижчим за показник у контрольній групі. Рівні інгібітору активатора плазміногену та Д-димеру в пацієнтів були підвищеними, а рівень антиплазміну нижчий, як порівняти зі значеннями до оперативного втручання. Зміни тканинного активатора плазміногену незначні. Кореляційного зв'язку між вмістом інгібітору активатора плазміногену та Д-димеру також не було встановлено. Отримані авторами результати підтверджують порушення системи фібринолізу в пацієнтів після операції щодо тотального ендпротезування суглобів. Також визначили, що за хірургічного втручання обов'язковим є контроль системи фібринолізу, оскільки її порушення може призвести до ускладнень у формі кровотечі, гематом і необхідності гемотрансфузії [40].

A. Burlson і співавт. провели дослідження щодо впливу періопераційних чинників на систему фібринолізу в пацієнтів, яким проводили ендпротезування великих суглобів. Відомо, що більшість хворих, які потребують тотального ендпротезування суглобів (кульшових і колінних), є особами похилого віку, мають супутні захворювання, збільшений індекс маси тіла та порушення вуглеводного обміну. Усі ці фактори можуть впливати на систему фібринолізу як до, так і після оперативного втручання. Авторами виявлено вплив віку, індексу маси тіла та застосування в лікуванні



пацієнтів транексамової кислоти на систему фібринолізу. Усього обстежено 99 осіб, яким проводилось тотальне ендопротезування кульшового та колінного суглобів. Аналіз крові хворим виконували перед операцією, а також у перший день після неї й визначали рівень Д-димеру, інгібітору активатора плазміногену та тканинного активатора плазміногену за допомогою методів імуноферментного аналізу, рівень антиплазміну. Дані щодо віку, статі, рівня гемоглобіну та індексу маси тіла пацієнтів систематизували під час вивчення їх історій хвороб.

Встановлено, що показник у крові Д-димеру та тканинного активатора плазміногену мали позитивну кореляцію з віком хворих, тоді як показник антиплазміну перед операцією негативно корелював з віком. Індекс маси тіла пов'язаний лише з передопераційним рівнем тканинного активатора плазміногену. На значення фібринолізу від оперативного втручання не мав впливу. Також було визначено, що немає істотної різниці в даних Д-димеру, плазміногену та тканинного активатора плазміногену або антиплазміну між пацієнтами, які отримували транексамову кислоту, або ні. Концентрація Д-димеру та тканинного активатора плазміногену показала значно нижчі результати в осіб, які отримували цю кислоту. Одержані авторами відомості підтвердили, що похилий вік пацієнтів і підвищений індекс маси тіла впливають на порушення системи фібринолізу після ендопротезування, тоді як застосування транексамової кислоти знижує його рівень [41, 42].

Транексамова кислота є потужним антифібринолітиком із визною ефективністю. Її застосування під час ендопротезування суглобів схвалено клінічними радами [43]. Використання транексамової кислоти охоплює майже 95 % пацієнтів після ендопротезування в усьому світі [44]. У дослідженні MATTER (застосування транексамової кислоти під час операцій) було обстежено 896 пацієнтів і виявлено зниження ризику смертності на 6,5 % у хворих, яким застосовували транексамову кислоту [45].

На сьогодні терапевтична увага зосереджена на фібринолітичній системі за напрямками: механізми, що регулюють утворення та активність плазміну на поверхні клітин, фібрину та протеїнах екстрацелюлярного матрикса, вплив плазміноген/плазміну на агрегацію тромбоцитів, індуковану різними агоністами, його прозапальна функція. Charithani B. Keragala зі співавт. повідомляли, що введення плазміногену покращує тромболізіс і прискорює загоєння ран. Здебільшого такі висновки були отримані в результаті досліджень *in*

*vitro* або на тваринах, але доведено, що застосування антифібринолітичних засобів для зменшення кровотечі в пацієнтів має клінічно значущі переваги, зокрема зниження ризику інфікування, яке не залежить від їх гемостатичних якостей [46].

## Висновки

У клінічній ортопедії після операцій ендопротезування кульшових суглобів у хворих із коксартрозом III–IV стадій часто виникають ускладнення у вигляді порушень системи гемостазу, які супроводжуються розвитком тромбозу глибоких вен кінцівок, у важких випадках — тромбоемболією легеневої артерії. Контроль цих ускладнень проводиться за результатами визначення маркерів системи гемостазу, які досліджуються до та після оперативного втручання.

На сьогодні відсутній чіткий консенсус серед фахівців ортопедичного профілю, а також лікарів-анестезіологів, терапевтів і спеціалістів із патології гемостазу щодо раціонального, безпечного й ефективного застосування антикоагулянтів, зокрема, їх правильної комбінації з метою зниження до мінімуму ризиків післяопераційних ускладнень із боку згортальної/протизгортальної системи крові.

Доведено, що існує велика кількість різноманітних чинників, які впливають на розвиток порушень системи гемостазу в організмі. Віковий фактор, адже пацієнти похилого віку мають власні особливості метаболізму, а також змінені реологічні властивості крові. Збільшення маси тіла, зокрема, ожиріння, також є важливим чинником, який не можна не враховувати в клінічній практиці. Окрім того, кардіоваскулярні порушення віддзеркалюються в розвитку артеріальної гіпертензії, зміні структури судин, а також спричинюють виникнення утворення тромбів і мікротромбів. Усе це потрібно враховувати під час вибору профілактики порушень системи гемостазу у хворих, які потребують ендопротезування суглобів.

На сьогодні залишаються не до кінця визначені чіткі клініко-лабораторні критерії оцінювання системи гемостазу та перелік біохімічних маркерів сполучної тканини для контролю стану пацієнтів до та після ендопротезування суглобів на фоні застосування сучасних схем призначення антикоагулянтів.

**Конфлікт інтересів.** Автор декларує відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Розробка алгоритму діагностики та лікування хворих на коксартроз III–IV ст. є подальшою перспективою нашого дослідження.

**Інформація про фінансування.** Фінансування видатками державного бюджету України.

**Внесок авторів.** Висоцький О. В. — аналіз літературних джерел, написання тексту статті, редагування тексту.

## Список літератури

- Filipenko, V. A., Tankut, V. A., Bondarenko, S. E., Tankut, A. V., & Akondjom M. (2016) Hip replacement with complications after osteosynthesis of the proximal femur. *Trauma: scientific and practical journal*, 17(3), 29–30. (In Ukrainian)
- Choe, H., Indelli, P. F., Ricciardi, B., Kim, T., Homma, Y., Kigera, J., Veloso Duran, M., & Khan, T. (2025). What are the absolute contraindications for elective total knee or hip arthroplasty? *The journal of arthroplasty*, 40(2), S45–S47. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.10.041>
- Beig Mirza, S., Elawady, K., Kashif Abbas, S., A. Gangoo, S., & S. Panesar, S. (2020). Hemostasis and *Biosurgicals in trauma and orthopedic surgery. Biosurgicals — The next frontier in operative approaches [working title]*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92805>
- Tanghe, K. K., Chalmers, B. P., Blevins, J. L., Figgie, M. P., Carli, A. V., Agrusa, C. J., Sculco, P. K., & Gausden, E. B. (2022). Hemostatic agents in orthopedic surgery. *HSS Journal@: The musculoskeletal journal of hospital for special surgery*, 19(2), 247–253. <https://doi.org/10.1177/15563316221134270>
- Korzh, M., Filipenko, V., Leontyeva, F., Tankut, O., Malyk, R., & Yakovenko, N. (2012). Use of dabigatran etexilate for preventing thromboembolic complications in hip joint arthroplasty. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(4), 94. <https://doi.org/10.15674/0030-59872012494-98>
- Filipenko, V., Leontyeva, F., & Podgayskaya, O. (2012). Prevention of thromboembolic complications in replacement arthroplasty with use of enoxiparin. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(4), 99. <https://doi.org/10.15674/0030-59872012499-103>
- Tang, S., Zhou, Z., Yang, J., Kang, P., Shen, B., Pei, F., & Shi, X. (2022). Effects of tranexamic acid on vascular occlusive events and perioperative resuscitation in patients with atrial fibrillation undergoing total joint arthroplasty. *Chinese medical journal*, 135(19), 2354–2356. <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000002114>
- Klein, A., Agarwal, S., Cholley, B., Fassl, J., Griffin, M., Kaakinen, T., Paulus, P., Rex, S., Siegemund, M., & Van Saet, A. (2022). A review of European guidelines for patient blood management with a particular emphasis on antifibrinolytic drug administration for cardiac surgery. *Journal of clinical anesthesia*, 78, 110654. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2022.110654>
- Park, J., Han, S., Park, J., Moon, S., & Jang, W. (2023). A decline in Overutilization of transfusion after total knee arthroplasty using pharmacological agents for patient blood management in South Korea: An analysis based on the Korean national health insurance claims database from 2008 to 2019. *Clinics in orthopedic surgery*, 15(6), 942. <https://doi.org/10.4055/cios22312>
- Abedi, A. A., Tuncay, I., Adi, M. M., Tarabichi, S., Memtsoudis, S., Buttarro, M., & Parvizi, J. (2025). Should intravenous heparin be administered during total knee or total hip arthroplasty? *The journal of arthroplasty*, 40(2), S60–S62. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.10.072>
- Kornblith, L. Z., Moore, H. B., & Cohen, M. J. (2019). Trauma-induced coagulopathy: The past, present, and future. *Journal of thrombosis and haemostasis*, 17(6), 852–862. <https://doi.org/10.1111/jth.14450>
- Peck, K. A., Ley, E. J., Brown, C. V., Moore, E. E., Sava, J. A., Ciesla, D. J., Sperry, J. L., Rizzo, A. G., Rosen, N. G., Brasel, K. J., Kozar, R., Inaba, K., & Martin, M. J. (2020). Early anticoagulant reversal after trauma: A western trauma association critical decisions algorithm. *Journal of trauma and acute care surgery*, 90(2), 331–336. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000002979>
- Hofer, S., Blaha, J., Collins, P. W., Ducloy-Bouthors, A., Guasch, E., Labate, F., Lança, F., Nyfløt, L. T., Steiner, K., & Van de Velde, M. (2022). Haemostatic support in postpartum haemorrhage. *European journal of anaesthesiology*. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001744>
- Giouleka, S., Tsakiridis, I., Kalogiannidis, I., Mamopoulos, A., Tentas, I., Athanasiadis, A., & Dagklis, T. (2022). Postpartum hemorrhage: A comprehensive review of guidelines. *Obstetrical & gynecological survey*, 77(11), 665–682. <https://doi.org/10.1097/ogx.0000000000001061>
- Klein, A., Agarwal, S., Cholley, B., Fassl, J., Griffin, M., Kaakinen, T., Paulus, P., Rex, S., Siegemund, M., & van Saet, A. (2022). A review of European guidelines for patient blood management with a particular emphasis on antifibrinolytic drug administration for cardiac surgery. *Journal of clinical anesthesia*, 78, 110654. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2022.110654>
- Wang, M., Zheng, X., & Jiang, L. (2015). Efficacy and safety of Antifibrinolytic agents in reducing perioperative blood loss and transfusion requirements in scoliosis surgery: A systematic review and meta-analysis. *Plos one*, 10(9), e0137886. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137886>
- Yuan, L., Zeng, Y., Chen, Z., Zhang, X., Mai, S., Song, P., & Tao, L. (2019). Efficacy and safety of antifibrinolytic agents in spinal surgery. *Chinese medical journal*, 132(5), 577–588. <https://doi.org/10.1097/cm9.000000000000108>
- Huang, F., Wu, Y., Yin, Z., Ma, G., & Chang, J. (2015). A systematic review and meta-analysis of the use of Antifibrinolytic agents in total hip arthroplasty. *HIP International*, 25(6), 502–509. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000285>
- Ma, Q., Han, G., Li, B., Li, X., & Jiang, T. (2020). Effectiveness and safety of the use of antifibrinolytic agents in total-knee arthroplasty. *Medicine*, 99(20), e20214. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000020214>
- Tang, K., Wu, Y., Mu, Y., Li, R., Nie, M., & Yin, L. (2020). Intramedullary hemostasis further reduces postoperative anemia in patients over 70 years old undergoing total hip arthroplasty. *Journal of orthopaedic surgery*, 28(3). <https://doi.org/10.1177/2309499020965624>
- Zhao, Z., Ma, J., & Ma, X. (2019). Comparative efficacy and safety of different hemostatic methods in total hip arthroplasty: A network meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-018-1028-2>
- Bai, F., Feng, S., Xu, C., Xu, Z., Chen, J., & Zheng, Y. (2019). Transurethral resection versus holmium laser enucleation of the prostate. *Medicine*, 98(15), e15223. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000015223>
- Muñoz, M., Peña-Rosas, J. P., Robinson, S., Milman, N., Holzgreve, W., Breymann, C., Goffinet, F., Nizard, J., Christory, F., Samama, C., & Hardy, J. (2017). Patient blood management in obstetrics: Management of anaemia and haematinic deficiencies in pregnancy and in the post-partum period: NATA consensus statement. *Transfusion Medicine*, 28(1), 22–39. <https://doi.org/10.1111/tme.12443>
- Bondarenko, S., Filipenko, V., Morozenko, D., Leontyeva, F., Vysotskyi, O., & Maltseva, V. (2022). Analysis of the relationship between degenerative changes in the joint under conditions of hip osteoarthritis with hemostasis disorders in patients based on the results of a biochemical study. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3–4), 62–67. <https://doi.org/10.15674/0030-598720223-462-67>
- Marinho, D. S. (2021). Perioperative hyperfibrinolysis – physiology and pathophysiology. *Brazilian journal of anesthesiology (English Edition)*, 71(1), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2020.12.007>
- Kuijpers, M. J., Heemskerk, J. W., & Jurk, K. (2022). Molecular mechanisms of Hemostasis, thrombosis and thrombo-inflammation. *International Journal of molecular sciences*, 23(10), 5825. <https://doi.org/10.3390/ijms23105825>

27. Adelborg, K., Larsen, J. B., & Hvas, A. (2021). Disseminated intravascular coagulation: Epidemiology, biomarkers, and management. *British journal of haematology*, 192(5), 803–818. <https://doi.org/10.1111/bjh.17172>
28. Williams, B., Zou, L., Pittet, J., & Chao, W. (2024). Sepsis-induced Coagulopathy: A comprehensive narrative review of pathophysiology, clinical presentation, diagnosis, and management strategies. *Anesthesia & Analgesia*, 138(4), 696–711. <https://doi.org/10.1213/ane.000000000000688>
29. Wang, Y., Xie, J., & Pei, F. (2021). Plasma D-dimer and FDP are promising biomarkers to predict perioperative fibrinolysis and bleeding following primary total joint arthroplasty. *Medicine*, 100(20), e26058. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000026058>
30. Tsantes, A., Papadopoulos, D., Lytras, T., Tsantes, A., Mavrogenis, A., Korompilias, A., Gelalis, I., Tsantes, C., & Bonovas, S. (2019). Association of malnutrition with periprosthetic joint and surgical site infections after total joint arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Journal of hospital infection*, 103(1), 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.04.020>
31. Onggo, J. R., Ang, J. J., Onggo, J. D., De Steiger, R., & Hau, R. (2021). Greater risk of all-cause revisions and complications for obese patients in 3 106 381 total knee arthroplasties: A meta-analysis and systematic review. *ANZ journal of surgery*, 91(11), 2308–2321. <https://doi.org/10.1111/ans.17138>
32. Carender, C. N., Fruth, K. M., Lewallen, D. G., Berry, D. J., Abdel, M. P., & Bedard, N. A. (2024). Obesity and primary total hip arthroplasty: The absolute versus relative risk of Periprosthetic joint infection at 15 years. *The journal of arthroplasty*, 39(9), S436–S443.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.03.033>
33. Chen, J., Zhang, F., Liu, C., Yuan, Q., Di, X., Long, S., Shang, H., & Jia, Y. (2019). Impact of chronic kidney disease on outcomes after total joint arthroplasty: A meta-analysis & systematic review. <https://doi.org/10.21203/rs.2.14747/v1>
34. Poredos, P., Poredos, P., Jezovnik, M. K., Mavric, A., Leben, L., Mijovski, M. B., Maia, P., Haddad, S., & Fareed, J. (2021). Time course of inflammatory and Procoagulant markers in the early period after total hip replacement. *Clinical and applied thrombosis/hemostasis*, 27. <https://doi.org/10.1177/1076029620985941>
35. Man, C., An, Y., Wang, G., Mao, E., & Ma, L. (2025). Recent advances in pathogenesis and anticoagulation treatment of sepsis-induced Coagulopathy. *Journal of inflammation research*, 18, 737–750. <https://doi.org/10.2147/jir.s495223>
36. Hartono, F., Yusuf, I., Suhadi, B., Fachrudin, A., & Augustinus, Y. (2021). Trauma magnitude of the meta-epiphyseal cancellous affects the incidence of deep vein thrombosis. A prospective cohort study on the dynamic of collagen I, collagen IV, tissue factor, P-selectin and nitric oxide in the thrombus formation following hip and knee surgeries. *Annals of medicine & surgery*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102190>
37. Dahl, O. E., Pripp, A. H., Jaradeh, M., & Fareed, J. (2023). The bone cement Hypercoagulation syndrome: Pathophysiology, mortality, and prevention. *Clinical and applied thrombosis/hemostasis*, 29. <https://doi.org/10.1177/10760296231198036>
38. Abedi, A. A., Tuncay, I., Adi, M. M., Tarabichi, S., Memtsoudis, S., Buttar, M., & Parvizi, J. (2025). Should intravenous heparin be administered during total knee or total hip arthroplasty? *The Journal of arthroplasty*, 40(2), S60–S62. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.10.072>
39. Conway, F., Talwar, D., & McMillan, D. (2015). The relationship between acute changes in the systemic inflammatory response and plasma ascorbic acid, Alpha-tocopherol and lipid peroxidation after elective hip arthroplasty. *Clinical Nutrition*, 34(4), 642–646. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.07.004>
40. Guler, N., Burleson, A., Syed, D., Banos, A., Hopkinson, W., Hoppensteadt, D., Rees, H., & Fareed, J. (2015). Fibrinolytic dysregulation in total joint arthroplasty patients. *Clinical and applied thrombosis/hemostasis*, 22(4), 372–376. <https://doi.org/10.1177/1076029615597060>
41. Burleson, A., Guler, N., Banos, A., Syed, D., Wanderling, C., Hoppensteadt, D., Rees, H., Fareed, J., & Hopkinson, W. (2015). Perioperative factors and their effect on the Fibrinolytic system in arthroplasty patients. *Clinical and applied thrombosis/hemostasis*, 22(3), 274–279. <https://doi.org/10.1177/1076029615611251>
42. Karunakaran, G., Menon, J., Nema, S., & Basu, D. (2020). Plasma D-dimer levels in non-prosthetic orthopaedic implant infection: Can it aid diagnosis? *Indian journal of orthopaedics*, 54(S1), 76–80. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00120-8>
43. Fillingham, Y. A., Ramkumar, D. B., Jevsevar, D. S., Yates, A. J., Bini, S. A., Clarke, H. D., Schemitsch, E., Johnson, R. L., Memtsoudis, S. G., Sayeed, S. A., Sah, A. P., & Della Valle, C. J. (2018). Tranexamic acid use in total joint arthroplasty: The clinical practice guidelines endorsed by the American Association of hip and knee surgeons, American society of Regional Anesthesia and Pain Medicine, American Academy of orthopaedic surgeons, hip society, and knee society. *The journal of arthroplasty*, 33(10), 3065–3069. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.08.002>
44. Patel, P. A., Wyrobek, J. A., Butwick, A. J., Pivalizza, E. G., Hare, G. M., Mazer, C. D., & Goobie, S. M. (2022). Update on applications and limitations of perioperative Tranexamic acid. *Anesthesia & Analgesia*, 135(3), 460–473. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000006039>
45. Morrison, J. J. (2012). Military application of Tranexamic acid in trauma emergency resuscitation (MATTERs) study. *Archives of Surgery*, 147(2), 113. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2011.287>
46. Keragala, C. B., & Medcalf, R. L. (2021). Plasminogen: An enigmatic zymogen. *Blood*, 137(21), 2881–2889. <https://doi.org/10.1182/blood.2020008951>

Стаття надійшла до редакції 11.01.2025	Отримано після рецензування 23.02.2025	Прийнято до друку 27.02.2025
---	---	---------------------------------

## HEMOSTATIC SYSTEM DISORDERS IN PATIENTS WITH COXARTHROSIS OF III–IV STAGES AFTER TOTAL HIP ARTHROPLASTY (LITERATURE REVIEW)

O. V. Vysotskyi

Municipal Non-Profit Enterprise «Kherson Regional Clinical Hospital». Ukraine

✉ Oleksandr Vysotskyi, MD: vavkherson@gmail.com: <https://orcid.org/0000-0002-4845-1615>





На початку 2025 року опубліковано посібник «Рекомендації Всесвітнього конгресу експертів з ендопротезування суглобів», рекомендований науково-видавничою радою Національної академії медичних наук України та розрахований на широке коло користувачів.

Актуальність цього практичного посібника обумовлена тим, що сучасний світовий рівень ортопедії та травматології неминуче пов'язаний із розвитком ендопротезування суглобів. Незважаючи на багаторічну історію органозбережних операцій та високий рівень сучасної променевої діагностики, саме ендопротезування значно розширило можливості лікування різноманітних патологій суглобів. Завдяки технологічності операцій, ця методика зайняла провідне місце в ортопедії, особливо за умов лікування складних клінічних випадків. В Україні становлення ендопротезування проходить швидкими темпами, надолжуючи втрачене в роки економічного спаду.

Проте недостатня обізнаність вітчизняних хірургів-ортопедів щодо сучасних підходів призводить до виникнення важких ускладнень. Саме тому публікація цього видання стане надійним помічником для фахівців у їхній практичній роботі.

Посібник має логічну структуру й охоплює ключові аспекти сучасної практики ендопротезування. Серед основних розділів — вибір показань до операції, профілактика ускладнень, розбір актуальних клінічних питань, які виникають у щоденній практиці, а також аналіз сучасних технік та особливостей їх застосування. Видання висвітлює не лише питання первинного та ревізійного ендопротезування, але й окремі підходи до запобігання незадовільних результатів та розвитку ускладнень, зокрема профілактики та лікування перипротезної інфекції.

У цьому посібнику викладено 58 актуальних та дискусійних питань, щодо кожного з яких світові експерти досягнули консенсусу. Увесь матеріал базується на сучасних доказах, ретельному аналізі літератури й експертних оцінках провідних фахівців з усього світу, що підкреслює значущість висвітлюваної проблематики. Кожне твердження відповідає найсучаснішим тенденціям у сфері ендопротезування, де сумісно зустрілися теоретичний базис і професійний досвід, що разом робить його актуальним керівництвом для ортопедів-травматологів усіх рівнів.

Практичний посібник «Рекомендації Всесвітнього конгресу експертів з ендопротезування суглобів», який підготували укладачі Станіслав Бондаренко та Джавад Парвізі, має практичну цінність і рекомендований для широкого кола читачів. Він структурований таким чином, щоб кожен спеціаліст міг швидко знайти необхідну інформацію та застосувати її у своїй практиці. Виклад матеріалу базується на останніх розробках і впровадженнях провідних світових ортопедів, анестезіологів, хірургів і реабілітологів, що робить його незамінним дороговказом для розвитку медицини майбутнього.