

**FEATURES OF AUTOLOGOUS CANCELLOUS BONE GRAFTING
IN GUNSHOT FRACTURES WITH BONE DEFECTS**

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya (Vinnytsia, Ukraine)

md.lytvyniuk@gmail.com

The problem of treating patients with gunshot fractures is particularly relevant under current conditions. The aim of this study was to characterise the clinical outcomes of using autologous bone grafts in the treatment of patients with gunshot fractures, taking into account the nature of bone tissue defects. Clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty for bone defects were analysed in 58 patients with gunshot fractures of long bones. The mean age of the patients was 39.09 ± 9.04 years. Treatment outcomes were evaluated using the Neer–Grantham–Shelton scale. Injury characteristics were assessed using the classification of long bone defects in combat-related extremity trauma and Tetsworth's classification of bone defects. Absolute values of defect size were also evaluated. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27.0.1. Results were considered statistically significant at $p \leq 0.05$. The mean clinical outcome score following autologous cancellous osteoplasty was 70.05 ± 15.33 points. Excellent outcomes were observed in 9 (15.52%) patients, good in 24 (41.38%), satisfactory in 17 (29.31%), and unsatisfactory in 8 (13.79%) patients. The mean size of the bone defect was 5.14 ± 2.16 cm. Factors associated with significantly better clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty in gunshot fractures with bone defects included: bone defects up to 5 cm in size ($\tau = +0.61$, $p = 0.0000000001$); defects of type D3 A ($\tau = +0.53$, $p = 0.000000004$); B3 ($\tau = +0.43$, $p = 0.000002$); and C1 ($\tau = +0.24$, $p = 0.007$). Factors associated with significantly worse clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty included: bone defects larger than 5 cm ($\tau = -0.61$, $p = 0.0000000001$); defects of type C2 ($\tau = -0.18$, $p = 0.047$); C3 ($\tau = -0.47$, $p = 0.000001$); D3 B ($\tau = -0.20$, $p = 0.03$); and D3 C ($\tau = -0.48$, $p = 0.000001$). Thus, the high effectiveness of autologous bone grafting in the treatment of patients with gunshot fractures and bone tissue defects has been confirmed.

Key words: combat trauma, bone defects, gunshot fractures, osteoplasty, autologous bone grafting.

Connection of the publication with planned research works.

The work was performed in accordance with the research plan of National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya and is a fragment of the research topic of the Department of Traumatology, "Improvement of methods for diagnosis, treatment and rehabilitation of patients with injuries and diseases of the musculoskeletal system", state registration number 0123U102765.

Introduction.

With the outbreak of the full-scale war in Ukraine, the number of combat-related injuries has increased sharply. Currently, the treatment of patients with gunshot wounds and bone tissue defects represents one of the most urgent and complex challenges in modern orthopaedics and traumatology.

A distinctive feature of modern warfare is the use of weapons that cause multiple types of injuries, including firearm wounds, explosive trauma, burns, and blast wave effects. Contemporary weapons and military tactics result in extremely severe physical and psychological trauma [1, 2].

Firearm injuries to the limbs are characterised by prolonged treatment and rehabilitation periods due to the severity of the damage. This includes comminuted fractures with bone defects, extensive soft tissue destruction, significant microbial contamination of the wound, the presence of foreign bodies and secondary fragments, microcirculatory disturbances, and a high incidence of both early and late complications [2, 3, 4]. Due to the use of modern weaponry, the majority of firearm fractures (35–41%) are comminuted, with 41.3% classified as fragmented. In over 80% of cases, gunshot fractures are complicated by bone tissue defects [3]. Primary bone defects caused by high-energy projectiles are

observed in 79.3% of wounded patients, including 48.7% of cases in which diaphyseal defects of tubular bones reach 3 cm, and 30.6% in which they exceed 3 cm [3, 4]. Secondary defects, resulting from excessive radicalisation of surgical treatment or repeated resections due to infectious complications, necessitate plastic surgery in 7.1% of cases [3, 4].

The primary objectives in the treatment of patients with gunshot fractures remain the restoration of the anatomical structures of the affected segment and the recovery of functional activity. The gold standard in the management of bone defects is the use of autologous cancellous bone tissue, typically harvested from the patient's ilium [5, 6, 7, 8]. The advantages of autologous bone grafting include high histocompatibility, osteoconductivity, the presence of a large number of autologous progenitor cells, and the absence of immune rejection [7, 8, 9]. It should be noted that the use of autologous cancellous osteoplasty is associated with certain limitations, including the need for an additional surgical intervention, the risk of donor site complications, and limited tissue availability [5, 7, 9]. In addition, the application of this technique in gunshot injuries has specific considerations due to the nature of the trauma, the extent of soft tissue damage, the presence of infection, and the overall condition of the patient [8].

Identifying the features of autologous cancellous osteoplasty in the treatment of patients with gunshot fractures complicated by bone tissue defects will enhance the effectiveness of bone regeneration and improve long-term functional outcomes.

The aim of the study.

To describe the clinical results of using autologous bone grafts in the treatment of patients with gunshot

fractures, taking into account the characteristics of bone tissue defects.

Object and research methods.

The clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty for bone tissue defects were analysed in 58 patients with gunshot fractures of long bones who were hospitalised in the trauma department of Vinnytsia City Clinical Emergency Hospital during the period 2022–2023. The mean age of the patients was 39.09 ± 9.04 years. Sixteen patients (27.59%) had gunshot fractures of the humerus, 16 (27.59%) had fractures of the forearm bones, 12 (20.69%) were diagnosed with gunshot fractures of the femur, and 18 (31.03%) sustained injuries to the bones of the lower leg.

The analysis of clinical indicators for autologous cancellous osteoplasty was conducted using a modified 100-point scale for assessing treatment outcomes in patients with bone fractures, as described by Neer–Grantham–Shelton [10]. A questionnaire was employed to evaluate indicators such as pain syndrome, bone fusion, deformities, limitations in range of motion, and the restoration of function and working capacity. The results were interpreted as follows: a total score of 85–100 points indicated an excellent treatment outcome; 70–84 points, good; 55–70 points, satisfactory; and less than 55 points, unsatisfactory. To characterise the injury, the classification of long bone defects in combat-related extremity trauma [11] and the classification of bone defects according to Tetsworth [12] were used. In addition, the absolute values of bone defect size were assessed.

The presented study was conducted in compliance with bioethical standards, in accordance with the principles of the World Medical Association’s Declaration of Helsinki (2013 edition) and the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine (1997), as well as with applicable national and institutional ethical standards. All patients were duly informed about the purpose of the study, the conditions under which it would be conducted, and the potential risks, as confirmed by written informed consent forms. To

ensure confidentiality, the personal data of the subjects were anonymised.

Statistical data processing was carried out using IBM SPSS Statistics 27.0.1 software. Quantitative indicators are presented as mean values and standard deviations ($M \pm SD$). Categorical variables are expressed as absolute numbers of cases (n) and corresponding percentages (%). The non-parametric Kruskal–Wallis test was used to compare indicators between independent groups, and Kendall’s τ rank correlation coefficient was applied to assess the functional relationship between variables. The prognostic value of the studied characteristics of bone defects in relation to the clinical outcome of autologous cancellous osteoplasty was determined using a binary logistic regression model, with calculation of the odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (CI). Results were considered statistically significant at a probability level of $p \leq 0.05$.

Research results and their discussion.

The clinical outcome of autologous cancellous osteoplasty in the examined patients was classified as good, with a mean score of 70.05 ± 15.33 points. Excellent treatment outcomes were observed in 9 (15.52%) patients, good outcomes in the majority – 24 (41.38%) patients, satisfactory outcomes in 17 (29.31%) patients, and unsatisfactory clinical results in 8 (13.79%) patients.

The mean size of the long bone defect in the study group was 5.14 ± 2.16 cm. The largest defect sizes were recorded in patients with satisfactory outcomes – 9.13 ± 1.55 cm. Among patients with excellent re-

Table 1 – Clinical outcomes of autologous cancellous bone grafting in relation to bone defect size

Defect size	Clinical outcomes of treatment				p
	excellent (n=9)	good (n=24)	satisfactory (n=17)	unsatisfactory (n=8)	
$M \pm SD$	$3,11 \pm 1,27$	$4,21 \pm 0,83$	$5,65 \pm 1,37$	$9,13 \pm 1,55$	$\leq 0,00001^*$
< 3 cm	4 (44,44%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	$\leq 0,00001^*$
3-5 cm	5 (55,56%)	23 (95,83%)	8 (47,06%)	0 (0,00%)	$\leq 0,00001^*$
> 5 cm	0 (0,00%)	1 (4,17%)	9 (52,94%)	8 (100,0%)	$\leq 0,00001^*$

Note: * – a statistically significant difference in the indicators was demonstrated at $p \leq 0.05$.

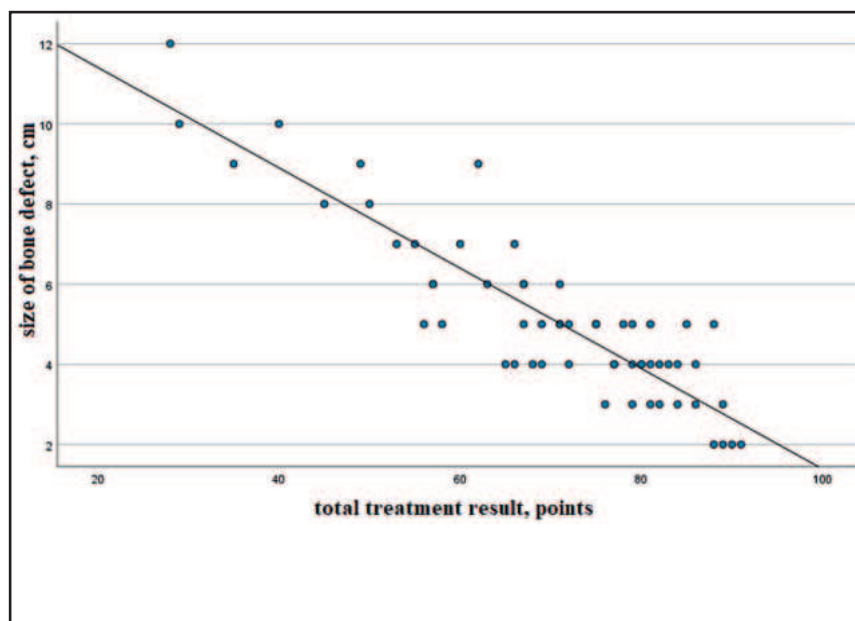


Figure – Scatter plot of total treatment outcomes in relation to the established size of the bone defect.

sults, the mean defect size was 3.11 ± 1.27 cm; in those with good outcomes – 4.21 ± 0.83 cm; and in those with unsatisfactory clinical indicators – 5.65 ± 1.37 cm (table 1). Comparison of the obtained values revealed a statistically significant difference ($p \leq 0.00001$). Furthermore, significantly poorer long-term clinical outcomes of autologous bone grafting were observed in patients with larger defect sizes ($\tau = -0.70$, $p \leq 0.00001$) (fig.).

In 4 patients (6.90%) from the examined group, bone defects measuring up to 3 cm were observed; these cases were recorded exclusively among patients with excellent treatment outcomes – 4 patients (44.44%). In all other outcome groups, the defect size exceeded this threshold. The dif-

ference in frequency between the groups was statistically significant ($p \leq 0.00001$). The presence of a bone defect < 3 cm in the examined patients was associated with better clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty ($\tau = +0.36$, $p = 0.00007$).

In 36 patients (62.07%) within the group, bone defects measuring 3–5 cm were identified. These were observed in the vast majority of patients with good and excellent clinical outcomes – 23 (95.83%) and 5 (55.56%), respectively – and in 8 (47.06%) of those with satisfactory treatment outcomes. The difference was statistically significant ($p \leq 0.00001$). Patients with bone defects measuring 3–5 cm demonstrated significantly better long-term clinical outcomes, which was confirmed by a direct moderate correlation between the indicators ($\tau = +0.40$, $p = 0.00001$).

Bone defects larger than 5 cm were found in 18 patients (31.03%). Notably, such defects were observed in all patients with unsatisfactory treatment outcomes – 8 (100.00%), in 9 (52.94%) patients with satisfactory results, and in 1 patient (4.17%) with good outcomes. The difference in frequency was statistically significant ($p \leq 0.00001$). Patients with bone defects greater than 5 cm demonstrated significantly poorer long-term clinical outcomes following autologous bone grafting ($\tau = -0.61$, $p = 0.00000000001$).

Analysing the clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty according to the type of injury, based on the classification of long bone defects in combat-related extremity trauma, bone defects of type B, specifically type B3, were identified in 9 patients (15.52%) within the group (table 2). Bone defects characterised by limited fragment contact with anatomical shortening were observed in 4 (44.45%) of the patients with excellent treatment outcomes, and in 5 (20.83%) patients with good outcomes. A statistically significant difference in frequency was demonstrated ($p=0.01$). Furthermore, patients with type B3 bone defects exhibited significantly better long-term clinical outcomes following autologous cancellous osteoplasty ($\tau = +0.43$, $p = 0.000002$), confirmed by a direct moderate correlation between the studied variables.

In the vast majority of patients examined – 49 (84.48%) – type C bone defects were found. These were diagnosed in 5 patients (55.55%) with excellent outcomes, 19 patients (79.17%) with good outcomes, and all patients with satisfactory and unsatisfactory treatment results – 17 (100.0%) and 8 (100.0%), respectively.

Type C1 defects were identified in 17 patients (29.31%) within the group. Segmental defects without shortening were observed in 3 patients (33.33%) with excellent outcomes, 10 patients (41.67%) with good outcomes, and 4 patients (23.53%) with satisfactory outcomes; the difference was not statistically significant ($p=0.15$). However, it was demonstrated that the presence of a C1-type bone defect in patients was associated with better clinical treatment outcomes ($\tau = +0.24$, $p = 0.007$).

A C2-type bone defect was recorded in 22 patients (37.93%). Segmental defects with shortening were found in 2 patients (22.22%) with excellent results, 9 patients (37.5%) with good

Table 2 – Clinical outcomes of autologous cancellous bone grafting according to the type of long bone defect in combat-related extremity trauma

Type of defect	Clinical outcomes of threathment				p
	excellent (n=9)	good (n=24)	satisfactory (n=17)	unsatisfactory (n=8)	
B3	4 (44,45%)	5 (20,83%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,01*
C-type	5 (55,55%)	19 (79,17%)	17 (100,0%)	8 (100,0%)	0,01*
C1	3 (33,33%)	10 (41,67%)	4 (23,53%)	0 (0,00%)	0,15
C2	2 (22,22%)	9 (37,50%)	7 (41,18%)	4 (50,00%)	0,68
C3	0 (0,00%)	0 (0,00%)	6 (35,29%)	4 (50,00%)	0,0009*

Note: * – a statistically significant difference in the indicators was demonstrated at $p \leq 0.05$.

results, 7 patients (41.18%) with satisfactory results, and 4 patients (50.00%) with unsatisfactory results. No significant difference in frequency was found ($p=0.68$), but a statistically significant weak inverse correlation was established between the studied characteristics, indicating worse clinical outcomes in patients with C2-type bone defects ($\tau = -0.18$, $p = 0.047$).

In 10 patients (17.24%) within the examined group, bone defects were classified as subtotal. Bone defects of type C3 were identified in 6 patients (35.29%) with satisfactory treatment outcomes and 4 patients (50.00%) with unsatisfactory outcomes; the difference in these indicators was statistically significant ($p=0.0009$). Patients with C3-type bone defects exhibited significantly poorer long-term results following autologous bone grafting, as confirmed by a moderate negative correlation between the studied variables ($\tau = -0.47$, $p = 0.0000001$).

According to the Tetsworth classification, 26 patients (44.83%) had type D3 A bone defects. These were recorded in the vast majority of patients with excellent and good clinical outcomes – 7 (77.78%) and 15 (62.50%), respectively – as well as in 4 patients (23.53%) with satisfactory results. The difference was statistically significant ($p=0.001$) (table 3). It was demonstrated that the presence of moderate bone defects measuring 2-4 cm in the examined patients is associated with significantly better treatment outcomes ($\tau = +0.53$, $p = 0.000000004$).

Bone defects of type D3 B were observed in 24 patients (41.38%) within the group. Large bone defects measuring 4-8 cm were found in the vast majority of patients with satisfactory treatment outcomes – 12 (70.59%), as well as in 2 patients (22.22%) with excellent outcomes, 9 patients (37.50%) with good outcomes, and 1 patient (12.50%) with unsatisfactory clinical indicators. The difference in frequency was statistically significant ($p=0.02$). Patients with D3 B bone defects demonstrated significantly poorer long-term clinical outcomes following autologous bone grafting, as confirmed by a weak inverse correlation between the studied variables ($\tau = -0.20$, $p = 0.03$).

Table 3 – Clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty according to the type of bone defect based on the Tetsworth classification

Type of defect	Clinical outcomes of threathment				p
	excellent (n=9)	good (n=24)	satisfactory (n=17)	unsatisfactory (n=8)	
D3 A	7 (77,78%)	15 (62,50%)	4 (23,53%)	0 (0,00%)	0,001*
D3 B	2 (22,22%)	9 (37,50%)	12 (70,59%)	1 (12,50%)	0,02*
D3 C	0 (0,00%)	0 (0,00%)	1 (5,88%)	7 (87,50%)	$\leq 0,00001^*$

Note: * – a statistically significant difference in the indicators was demonstrated at $p \leq 0.05$.

Table 4 – Prognostic value of bone defect size in relation to clinical outcomes of autologous cancellous bone grafting

Defect size	Clinical outcomes of treatment			
	excellent	good	satisfactory	unsatisfactory
< 3 cm	p=0,00004 OR=2,94 CI (6,14-18,14)	p=0,03	p=0,09	p=0,27
3-5 cm	p=0,66	p=0,000001 OR=37,15 CI (4,26-323,87)	p=0,13	p=0,00003
> 5 cm	p=0,006	p=0,00005 OR=0,04 CI (0,005-0,38)	p=0,02 OR=4,00 CI (1,17-13,72)	p=0,000003

In 8 patients (13.79%) within the group, massive bone defects exceeding 8 cm in size were recorded. Bone defects of type D3 C were found in the vast majority of patients with satisfactory treatment outcomes – 7 (87.50%), and 1 patient (5.88%) had good clinical indicators. The difference in frequency was statistically significant ($p \leq 0.00001$). Furthermore, the presence of massive bone defects in patients was associated with significantly poorer outcomes following autologous cancellous osteoplasty ($\tau = -0.48$, $p = 0.0000001$).

The next step was to analyse the prognostic value of bone defect size in determining the clinical outcomes of autologous bone grafting. Significantly higher odds of excellent treatment outcomes were found in patients with bone defects up to 3 cm (OR=2.94, 95% CI: 6.14–18.14, $p = 0.00004$) (table 4). Higher odds of good outcomes following autologous cancellous osteoplasty were observed in patients with bone defects measuring 3-5 cm (OR=37.15, 95% CI: 4.26–323.87, $p = 0.000001$). The presence of bone defects larger than 5 cm was associated with a higher risk of satisfactory treatment outcomes (OR=0.04, 95% CI: 0.005–0.38, $p = 0.00005$) and lower odds of achieving good clinical outcomes (OR=0.04, 95% CI: 0.005–0.38, $p = 0.00005$).

Patients with type B3 bone defects, as classified by the system for long bone defects in combat-related extremity trauma, were shown to have a significantly higher likelihood of achieving excellent long-term outcomes following autologous cancellous bone osteoplasty (OR = 7.04, 95% CI: 1.36–36.40, $p = 0.02$) (table 5). In contrast, the presence of type C injuries was associated with lower odds of achieving excellent clinical outcomes in the long-term postoperative period following autologous bone transplantation (OR=0.14, 95% CI: 0.03–0.73, $p = 0.02$). Patients with type C3 bone defects had a significantly higher risk of obtaining satisfactory (OR=5.05,

Table 5 – Prognostic value of long bone defect types in combat-related limb injuries in relation to clinical outcomes of autologous cancellous bone osteoplasty

Type of defect	Clinical outcomes of treatment			
	excellent	good	satisfactory	unsatisfactory
B3	p=0,02 OR=7,04 CI (1,36-36,40)	p=0,35	p=0,009	p=0,09
C-type	p=0,02 OR=0,14 CI (0,03-0,73)	p=0,35	p=0,009	p=0,09
C1	p=0,78	p=0,08	p=0,53	p=0,01
C2	p=0,28	p=0,95	p=0,74	p=0,45
C3	p=0,05	p=0,0005	p=0,02 OR=5,05 CI (1,17-21,83)	p=0,02 OR=7,33 CI (1,39-38,70)

95% CI: 1.17–21.83, $p = 0.02$) and unsatisfactory (OR=7.33, 95% CI: 1.39–38.70, $p = 0.02$) outcomes following autologous cancellous osteoplasty in the long term.

Patients with type D3 A bone defects, as defined by the Tetsworth classification, were shown to have significantly higher odds of achieving excellent (OR=5.53, 95% CI: 1.00–30.56, $p = 0.03$) and good (OR=3.48, 95% CI: 1.14–10.67, $p = 0.02$) clinical outcomes following autologous cancellous osteoplasty, as well as a lower risk of developing satisfactory outcomes in the long-term postoperative period (OR=0.27, 95% CI: 0.07–0.98, $p = 0.03$) (table 6). In patients with D3 B bone defects, a

significantly higher risk of achieving only satisfactory treatment outcomes in the long term after autologous bone transplantation was identified (OR=5.80, 95% CI: 1.63–20.63, $p = 0.004$). Significantly higher odds of developing unsatisfactory clinical outcomes following autologous cancellous osteoplasty were found in patients with D3 C bone defects (OR=343.00, 95% CI: 18.01–6533.86, $p \leq 0.00000001$).

The data obtained indicate a strong dependence of the clinical outcome of autologous cancellous osteoplasty on the characteristics of the bone defect, primarily its size and anatomical-topographical type, as confirmed by contemporary scientific studies [7, 8, 13]. In particular, we established that an increase in bone defect size is significantly associated with poorer long-term clinical outcomes following autologous bone transplantation ($\tau = -0.70$, $p \leq 0.00001$).

In patients with bone defects larger than 5 cm, a significantly higher frequency of both satisfactory and unsatisfactory treatment outcomes was observed ($p \leq 0.00001$), along with markedly poorer clinical indicators of autologous bone transplantation in the long-term postoperative period ($\tau = -0.61$, $p = 0.0000000001$). These findings support the well-established notion regarding the existence of critical thresholds for bone defect size in relation to the clinical effectiveness of conventional autologous cancellous osteoplasty [13, 14]. Conversely, the presence of bone defects up to 3 cm in the examined patients was associated with better clinical outcomes following autologous bone transplantation ($\tau = +0.36$, $p = 0.00007$) and significantly higher odds of achieving excellent clinical results (OR = 2.94, 95% CI: 6.14–18.14, $p = 0.00004$). This aligns with data from other authors who highlight the decisive role of bone loss volume in predicting osteoregenerative potential [8, 11].

A similar trend was observed in the analysis of bone defect types, as classified according to the Tetsworth system. It was demonstrated that the presence of moderate type D3 A bone defects measuring 2–4 cm in the examined patients was associated with significantly better treatment outcomes ($\tau = +0.53$, $p = 0.000000004$), as well as higher odds of achieving excellent (OR = 5.53, 95% CI: 1.00–30.56, $p = 0.03$) and good (OR = 3.48, 95% CI: 1.14–10.67, $p = 0.02$) clinical results. In contrast, patients with type D3 C bone defects larger than 8 cm had significantly higher odds of unsatisfactory long-term outcomes following autologous bone transplantation (OR = 343.00, 95% CI: 18.01–6533.86, $p \leq 0.00000001$). The data ob-

tained highlight the clinical relevance of this classification system. According to Hrytsai et al. (2024), its application may facilitate the selection of the most appropriate treatment strategy to optimise clinical outcomes [8].

Thus, bone defect size is a key prognostic factor in determining the success of osteoplasty; however, assessment of the defect type is equally important.

In patients with type B3 bone defects, as classified according to the long bone defect classification in combat-related extremity trauma, significantly better clinical outcomes of autologous cancellous osteoplasty were observed ($\tau = +0.43$, $p = 0.000002$), confirmed by a direct moderate correlation between the variables studied, as well as higher odds of achieving excellent long-term clinical results (OR = 7.04, 95% CI: 1.36–36.40, $p = 0.02$). In contrast, patients with C3-type bone defects had significantly higher odds of developing satisfactory (OR = 5.05, 95% CI: 1.17–21.83, $p = 0.02$) and unsatisfactory (OR = 7.33, 95% CI: 1.39–38.70, $p = 0.02$) outcomes following autologous cancellous osteoplasty. A similar trend was described by Burianov et al. (2024), who reported poorer outcomes of reconstructive interventions in the presence of subtotal bone damage. Moreover, the importance of preserving the anatomical integrity of bone fragments has been reaffirmed in several publications [3, 8, 11].

According to the results of the study, the high prognostic value of assessing the size and type of bone defect when planning autologous cancellous osteoplasty has been demonstrated. The developed prognostic models may be integrated into the preoperative algorithm for risk stratification and the selection of the optimal treatment approach, thereby improving the effectiveness of autologous cancellous osteoplasty, reducing the risk of complications, and contributing to the individualisation of treatment strategies for patients with combat-related trauma.

Conclusions.

Thus, by analysing the clinical outcomes of autologous bone grafting, we have confirmed the high effectiveness of this technique in treating patients with gunshot fractures accompanied by bone tissue defects.

Factors proven to be associated with significantly better clinical results of autologous cancellous osteo-

Table 6 – Prognostic value of bone defect types according to the Tetsworth classification in relation to clinical outcomes of autologous cancellous bone osteoplasty

Type of defect	Clinical outcomes of threatment			
	exellent	good	satisfactory	unsatisfactory
D3 A	p=0,03 OR=5,53 CI (1,00-30,56)	p=0,02 OR=3,48 CI (1,14-10,67)	p=0,03 OR=0,27 CI (0,07-0,98)	p=0,001
D3 B	p=0,19	p=0,61	p=0,004 OR=5,80 CI (1,63-20,63)	p=0,05 OR=0,17 CI (0,02-1,54)
D3 C	p=0,09	p=0,002	p=0,23	p≤0,00000001 OR=343,00 CI (18,01-6533,86)

plasty in gunshot fractures with bone tissue defects include:

- bone defects up to 5 cm in size;
- bone defects of type D3 A according to the Tetsworth classification;
- bone defects of types B3 and C1 according to the classification of long bone defects in combat-related extremity trauma.

Factors associated with significantly worse clinical outcomes of autologous cancellous bone osteoplasty in the long-term postoperative period include:

- bone defects larger than 5 cm;
- bone defects of types C2 and C3 according to the classification of long bone defects in combat-related extremity trauma;
- bone defects of types D3 B and D3 C according to the Tetsworth classification;

C2 bone defects according to the classification of long bone defects in combat injuries of the extremities.

To improve the effectiveness of osteoplastic interventions in gunshot fractures, we recommend considering these findings when selecting the optimal method for bone defect reconstruction.

Prospects for further research.

We consider the development of a scientifically based approach for selecting osteoplastic materials in the treatment of gunshot fractures with bone tissue defects to be a promising direction. This approach will take into account the type of injury, the anatomical location and size of the defect, individual patient risk factors, and factors related to the treatment performed.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-277-288

УДК 616.718.1-001.5-089.844

Фіщенко В. О., Литвинюк О. М.

ОСОБЛИВОСТІ АУТОСПОНГІОЗНОЇ ОСТЕОПЛАСТИКИ ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМАХ З ДЕФЕКТАМИ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

md.lytvyniuk@gmail.com

Проблема лікування пацієнтів з вогнепальними переломами є особливо актуальною в умовах сьогодення. Мета дослідження: охарактеризувати клінічні результати використання аутологічних кісткових трансплантатів в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами, враховуючи особливості дефекту кісткової тканини. Проаналізовано клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики дефектів кісткової тканини 58 поранених з вогнепальними переломами трубчастих кісток. Середній вік – 39,09±9,04 років. Результати лікування оцінювали з використанням шкали Neer-Grantham-Shelton. Для характеристики пошкоджень використовували класифікацію дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок та класифікацію кісткових дефектів за Tetsworth, а також оцінювали абсолютні значення розміру

дефекту. Статистичну обробку даних виконували з допомогою IBM SPSS Statistics 27.0.1. Статистично значущими вважали результати при $p \leq 0,05$. Клінічний результат аутоспонгіозної остеопластики складав $70,05 \pm 15,33$ балів. Відмінні результати встановлено у 9 (15,52%) хворих, хороші – у 24 (41,38%) пацієнтів, задовільні – у 17 (29,31%), незадовільні – у 8 (13,79%). Середній розмір кісткового дефекту становив $5,14 \pm 2,16$ см. Факторами, асоційованими з достовірно кращими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики при вогнепальних переломах з дефектами кісткової тканини є: кісткові дефекти величиною до 5 см ($\tau = +0,61$, $p = 0,0000000001$); дефекти типу D3 A ($\tau = +0,53$, $p = 0,000000004$); B3 ($\tau = +0,43$, $p = 0,000002$), C1 ($\tau = +0,24$, $p = 0,007$). Чинниками, пов'язаними з достовірно гіршими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики є: кісткові дефекти розміром понад 5 см ($\tau = -0,61$, $p = 0,0000000001$); дефектами типу C2 ($\tau = -0,18$, $p = 0,047$), C3 ($\tau = -0,47$, $p = 0,0000001$); D3 B ($\tau = -0,20$, $p = 0,03$), D3 C ($\tau = -0,48$, $p = 0,0000001$). Таким чином, нами підтверджено високу ефективність методики аутологічної кісткової трансплантації в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами з дефектами кісткової тканини.

Ключові слова: бойова травма, кісткові дефекти, вогнепальні переломи, остеопластика, аутологічна трансплантація.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова та є фрагментом теми науково-дослідної роботи кафедри травматології: «Удосконалення методів діагностики, лікування та реабілітації пацієнтів з травмами та захворюваннями опорно-рухового апарату», державний реєстраційний номер 0123U102765.

Вступ.

З початком повномасштабної війни в Україні кількість бойових травм різко зросла. На сьогоднішній день проблема лікування пацієнтів з вогнепальними пораненнями з дефектами кісткової тканини є однією з найбільш актуальних та складних у галузі сучасної ортопедії та травматології.

Особливістю сучасних бойових дій є застосування зброї з множинними факторами ураження: вогнепальна зброя, вибухові речовини, полум'я, вибухова хвиля. Сучасна зброя і тактика ведення війни призводять до надзвичайно тяжких пошкоджень як фізичних, так і психічних [1, 2].

Для вогнепальних поранень кінцівок характерні тривалий період лікування та реабілітації, що обумовлено важкістю пошкодження, зокрема переломами багатоуламкового роздробленого характеру з дефектами кістки, масивним руйнуванням м'яких тканин, значним мікробним забрудненням рани, наявністю сторонніх тіл, вторинних осколків, порушеннями мікроциркуляції та високою частотою ранніх і пізніх ускладнень [2, 3, 4]. Внаслідок дії сучасних видів зброї вогнепальні переломи у більшості випадків – 35-41% мають уламковий характер, а 41,3% – роздроблений. Понад 80% випадків вогнепальних переломів ускладнені дефектами кісткової тканини [3]. Первинні дефекти кісток, зумовлені дією високоенергетичного снаряду, спостерігають у 79,3% поранених, у тому числі, у 48,7% випадків дефекти діафізи трубчастого кістки досягають 3 см, у 30,6% – перевищують 3 см [3, 4]. Вторинні дефекти, внаслідок надмірної радикалізації хірургічної обробки або повторних резекцій на фоні інфекційних ускладнень, зумовлюють необхідність виконання пластичних операцій у 7,1% випадків [3, 4].

Основними завданнями в лікуванні пацієнтів з переломами вогнепального характеру залишаються відновлення анатомічних структур пошкодженого сег-

мента та функціональної активності хворих. Золотим стандартом в системі лікування кісткових дефектів є використання аутологічної губчастої кісткової тканини, зазвичай взятої з клубової кістки пацієнта [5, 6, 7, 8]. Перевагами аутологічного кісткового трансплантату є висока гістосумісність, остеоіндуктивність, наявність великої кількості аутологічних клітин-передників, відсутність імунного конфлікту [7, 8, 9]. Варто враховувати, що використання аутоспонгіозної остеопластики пов'язане з такими обмеженнями, як необхідність додаткового хірургічного втручання, ризик захворювань донорської ділянки, а також обмежена доступність тканини [5, 7, 9]. Окрім того, існують певні особливості застосування даної методики при вогнепальних пораненнях, зумовлені специфікою травми, ступенем ураження м'яких тканин, наявністю інфекції та загальним станом пацієнта [8].

Визначення особливостей аутоспонгіозної остеопластики в системі лікування пацієнтів з вогнепальними переломами з дефектами кісткової тканини дозволить підвищити ефективність відновлення кісткової тканини та покращити функціональні результати у віддаленому періоді.

Мета дослідження.

Охарактеризувати клінічні результати використання аутологічних кісткових трансплантатів в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами, враховуючи особливості дефекту кісткової тканини.

Об'єкт і методи дослідження.

Проаналізовано клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики дефектів кісткової тканини 58 поранених з вогнепальними переломами трубчастих кісток, які перебували на стаціонарному лікуванні в травматологічному відділенні КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги» за період 2022-2023 років. Середній вік обстежених – $39,09 \pm 9,04$ років. У 16 (27,59%) пацієнтів встановлено вогнепальні переломи плечової кістки, у 16 (27,59%) – переломи кісток передпліччя, у 12 (20,69%) хворих діагностовано вогнепальні переломи стегнової кістки, у 18 (31,03%) – поранення кісток гомілки.

Аналіз клінічних показників аутоспонгіозної остеопластики виконували з використанням модифікованої 100-бальної шкали оцінки результатів лікування хворих з переломами кісток Neer-Grantham-Shelton [10]. З допомогою опитувальника оцінювали показники больового синдрому, наявність зрощення кісток, деформації, обмеження обсягу рухів, віднов-

лення функції та працездатності. Інтерпретацію результатів здійснювали наступним чином: за наявності сумарних значень 85-100 балів результат лікування визначали як відмінний, 70-84 балів – хороший, 55-70 балів – задовільний, незадовільним вважали результат за наявності значень менше 55 балів. Для характеристики пошкоджень використовували класифікацію дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок [11] та класифікацію кісткових дефектів за Tetsworth [12]. Додатково оцінювали й абсолютні значення розміру дефекту кісткової тканини.

Представлене дослідження виконано з дотриманням біоетичних норм відповідно до принципів Гельсінкської декларації Всесвітньої медичної асоціації (редакція 2013 року), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (1997 рік), а також чинних національних і інституційних етичних стандартів. Усі пацієнти були належним чином поінформовані про мету дослідження, умови проведення та потенційні ризики, що підтверджено письмовими інформованими згодами на участь. Для забезпечення конфіденційності особисті дані обстежених були знеособлені.

Статистичну обробку даних виконували з допомогою програмного засобу IBM SPSS Statistics 27.0.1. Кількісні показники наведено у форматі середнього значення та стандартного відхилення ($M \pm SD$). Категоріальні змінні представлено у вигляді абсолютної кількості випадків (n) та відповідного відсоткового значення (%). Для порівняння показників між незалежними групами застосовували непараметричний критерій Краскела-Уолліса, а для оцінки функціонального зв'язку між змінними – коефіцієнт рангової кореляції τ -Кендала. Прогностичну цінність досліджуваних характеристик кісткового дефекту щодо клінічного результату аутоспонгіозної остеопластики визначали з допомогою моделі бінарної логістичної регресії, розраховуючи відношення шансів (OR) та 95 % довірчих інтервалів (CI). Статистично значущими вважали результати при рівні ймовірності $p \leq 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення.

Клінічний результат аутоспонгіозної остеопластики у обстежених відповідав хорошим значенням та складав $70,05 \pm 15,33$ балів. Відмінні результати лікування встановлено у 9 (15,52%) хворих, у більшості пацієнтів – 24 (41,38%) зафіксовано хороші значення, у 17 (29,31%) – задовільні, ще у 8 (13,79%) обстежених клінічні показники визначали як незадовільні.

Середній розмір дефекту трубчастої кістки у пацієнтів досліджуваної групи становив $5,14 \pm 2,16$ см. Найбільші значення показника встановлено у осіб з задовільними результатами лікування – $9,13 \pm 1,55$ см, у пацієнтів з відмінними значеннями середній розмір дефекту складав $3,11 \pm 1,27$ см, $4,21 \pm 0,83$ см – у хворих з хорошими результатами та $5,65 \pm 1,37$ см – у обстежених з задовільними клінічними показниками (табл. 1). При порівнянні отриманих показників доведено їх статистично значущу відмінність ($p \leq 0,00001$). Окрім того, достовірно гірші клінічні результати аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді доведено у пацієнтів з більшими розмірами дефекту ($\tau = -0,70$, $p \leq 0,00001$) (рис.).

У 4 (6,90%) обстежених групи спостерігали кісткові дефекти розміром до 3 см, вказані ознаки зареєстровано лише у групі пацієнтів з відмінними

результатами лікування – 4 (44,44%), у обстежених решти груп розмір дефекту перевищував вказані значення, відмінність частотних показників достовірна ($p \leq 0,00001$). Наявність кісткового дефекту < 3 см у обстежених асоційована з кращими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики ($\tau = +0,36$, $p = 0,00007$).

У 36 (62,07%) пацієнтів групи встановлено дефекти кістки розміром 3-5 см, які зафіксовано у переважній більшості пацієнтів з хорошими та відмінними клінічними показниками – 23 (95,83%) та 5 (55,56%) відповідно, та 8 (47,06%) обстежених з задовільними результатами лікування, відмінність статистично значуща ($p \leq 0,00001$). У пацієнтів з кістковими дефектами розміром 3-5 см доведено достовірно кращі клінічні результати лікування у віддаленому періоді, що підтверджено прямим помірним кореляційним зв'язком між показниками ($\tau = +0,40$, $p = 0,00001$).

Кісткові дефекти розміром понад 5 см встановлено у 18 (31,03%) пацієнтів групи, зокрема подібні ознаки спостерігали у всіх пацієнтів з незадовільними результатами лікування – 8 (100,00%), 9 (52,94%) осіб з задовільними показниками та 1 (4,17%) хворого з хорошими результатами, відмінність частотних характеристик достовірна ($p \leq 0,00001$). У пацієнтів з кістковими дефектами розміром > 5 см доведено формування достовірно гірших клінічних результатів аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді ($\tau = -0,61$, $p = 0,00000000001$).

Аналізуючи клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики з урахуванням типу пошкодження, відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок, кісткові дефекти типу В, зокрема тип В3 встановлено у 9 (15,52%) пацієнтів групи (табл. 2). Дефекти кістки, для яких характерно обмежений контакт фрагментів з анатомічним вкороченням, спостерігали у 4 (44,45%) обстежених з відмінними результатами лікування та 5 (20,83%) пацієнтів з хорошими показниками, при порівнянні частотних характеристик доведено статистично значущу відмінність ($p = 0,01$). Окрім того, у пацієнтів з кістковими дефектами типу В3 встановлено достовірно кращі клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики у віддаленому післяопераційному періоді ($\tau = +0,43$, $p = 0,000002$), що підтверджено прямим помірним кореляційним зв'язком між досліджуваними ознаками.

У переважній більшості обстежених – 49 (84,48%) встановлено кісткові дефекти типу С, які діагностовано у 5 (55,55%) хворих з відмінними результатами лікування, 19 (79,17%) пацієнтів з хорошими значеннями та всіх пацієнтів з задовільними та незадовільними показниками лікування – 17 (100,0%) та 8 (100,0%) відповідно.

Дефекти типу С1 встановлено у 17 (29,31%) хворих групи. Сегментарні дефекти без вкорочення спостерігали у 3 (33,33%) пацієнтів з відмінними результатами, 10 (41,67%) хворих з хорошими показниками та 4 (23,53%) осіб з задовільними значеннями, відмінність недостовірна ($p = 0,15$). Проте, доведено, що наявність кісткового дефекту типу С1 у пацієнтів досліджуваної групи асоційована з кращими клінічними результатами лікування ($\tau = +0,24$, $p = 0,007$).

Таблиця 1 – Характеристика клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики з урахуванням розміру кісткового дефекту

Розмір дефекту	Клінічні результати лікування				p
	відмінні (n=9)	хороші (n=24)	задовільні (n=17)	незадовільні (n=8)	
M±SD	3,11±1,27	4,21±0,83	5,65±1,37	9,13±1,55	≤0,00001*
< 3 см	4 (44,44%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	≤0,00001*
3-5 см	5 (55,56%)	23 (95,83%)	8 (47,06%)	0 (0,00%)	≤0,00001*
> 5 см	0 (0,00%)	1 (4,17%)	9 (52,94%)	8 (100,0%)	≤0,00001*

Примітка: * – доведено статистично значущу відмінність показників при p≤0,05.

Таблиця 2 – Характеристика клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики з урахуванням типу дефекту довгих кісток при бойовій травмі кінцівок

Тип дефекту	Клінічні результати лікування				p
	відмінні (n=9)	хороші (n=24)	задовільні (n=17)	незадовільні (n=8)	
B3	4 (44,45%)	5 (20,83%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,01*
C-тип	5 (55,55%)	19 (79,17%)	17 (100,0%)	8 (100,0%)	0,01*
C1	3 (33,33%)	10 (41,67%)	4 (23,53%)	0 (0,00%)	0,15
C2	2 (22,22%)	9 (37,50%)	7 (41,18%)	4 (50,00%)	0,68
C3	0 (0,00%)	0 (0,00%)	6 (35,29%)	4 (50,00%)	0,0009*

Примітка: * – доведено статистично значущу відмінність показників при p≤0,05.

Таблиця 3 – Характеристика клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики з урахуванням типу кісткового дефекту згідно класифікації Tetsworth

Тип дефекту	Клінічні результати лікування				p
	відмінні (n=9)	хороші (n=24)	задовільні (n=17)	незадовільні (n=8)	
D3 A	7 (77,78%)	15 (62,50%)	4 (23,53%)	0 (0,00%)	0,001*
D3 B	2 (22,22%)	9 (37,50%)	12 (70,59%)	1 (12,50%)	0,02*
D3 C	0 (0,00%)	0 (0,00%)	1 (5,88%)	7 (87,50%)	≤0,00001*

Примітка: * – доведено статистично значущу відмінність показників при p≤0,05.

Тип C2 кісткового дефекту зафіксовано у 22 (37,93%) хворих групи. Сегментарні дефекти з укороченням встановлено у 2 (22,22%) обстежених з відмінними результатами, 9 (37,5%) пацієнтів з хорошими показниками, 7 (41,18%) осіб з задовільними значеннями та 4 (50,00%) хворих з незадовільними показниками. Достовірної відмінності частотних характеристик не доведено (p=0,68), проте між досліджуваними ознаками встановлено статистично значущий зворотній слабкий кореляційний зв'язок,

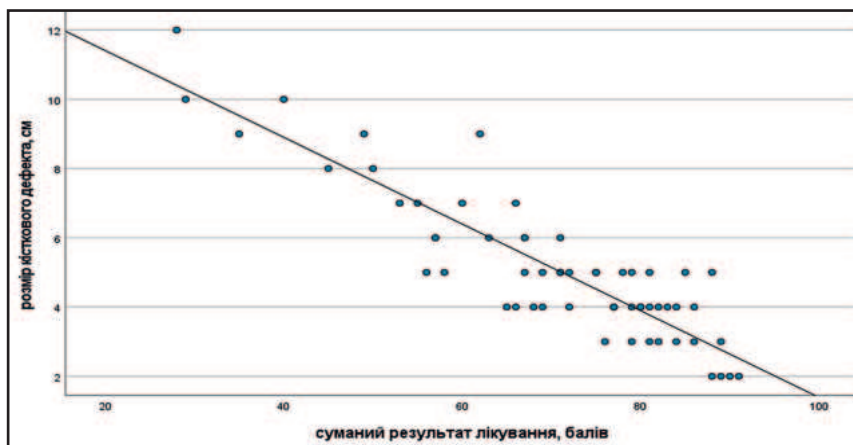


Рисунок – Діаграма розсіювання сумарних результатів лікування залежно від встановленого розміру кісткового дефекту.

що свідчить про формування гірших клінічних результатів у пацієнтів з кістковими дефектами типу C2 ($\tau=-0,18$, $p=0,047$).

У 10 (17,24%) обстежених групи кісткові дефекти визначали як субтотальні. Кісткові дефекти типу C3 встановлено у 6 (35,29%) пацієнтів з задовільними результатами лікування та 4 (50,00%) хворих з незадовільними значеннями, відмінність показників статистично значуща ($p=0,0009$). У хворих з кістковими дефектами типу C3 встановлено достовірно гірші результати аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді, що підтверджено зворотнім помірним кореляційним зв'язком між досліджуваними ознаками ($\tau=-0,47$, $p=0,0000001$).

Згідно класифікації Tetsworth у 26 (44,83%) обстежених групи встановлено кісткові дефекти типу D3 A, які зафіксовано у переважній більшості пацієнтів з відмінними та хорошими клінічними результатами лікування – 7 (77,78%) та 15 (62,50%) відповідно, а також 4 (23,53%) хворих з задовільними показниками, відмінність достовірною ($p=0,001$) (табл. 3). Доведено, що наявність помірних кісткових дефектів розміром 2-4 см у обстежених пов'язана з достовірно кращими результатами лікування ($\tau=+0,53$, $p=0,000000004$).

Кісткові дефекти типу D3 B спостерігали у 24 (41,38%) хворих групи. Великі кісткові дефекти розміром 4-8 см встановлено у переважній більшості пацієнтів з задовільними результатами лікування – 12 (70,59%), 2 (22,22%) хворих з відмінними показниками, 9 (37,50%) осіб з хорошими значеннями та 1 (12,50%) обстеженого з незадовільними клінічними показниками, відмінність частотних характеристик достовірною ($p=0,02$). У пацієнтів з кістковими дефектами типу D3 B доведено достовірно гірші клінічні результати аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді, що підтверджено зворотнім слабким кореляційним зв'язком між досліджуваними ознаками ($\tau=-0,20$, $p=0,03$).

У 8 (13,79%) пацієнтів групи зафіксовано масивні кісткові дефекти, розмір яких перевищував 8 см. Кісткові дефекти типу D3 C встановлено у переважній більшості пацієнтів з задовільними результатами лікування – 7 (87,50%) та 1 (5,88%) хворого з хорошими клінічними показниками, відмінність частотних характеристик достовірною ($p\leq 0,00001$). Окрім того, наявність масивних кісткових дефектів у пацієнтів досліджуваної групи пов'язана з формуванням достовірно гірших результатів аутоспонгіозної остеопластики ($\tau=-0,48$, $p=0,0000001$).

Наступним етапом нами виконано аналіз прогностичної цінності розміру кісткового дефекту щодо визначення клінічних результатів аутологічної кісткової трансплантації. Достовірно вищі шанси формування

відмінних результатів лікування встановлено у пацієнтів з кістковими дефектами до 3 см (OR=2,94, CI (6,14-18,14), p=0,00004) (табл. 4). Вищі шанси розвитку хороших результатів ауто-спонгіозної остеопластики доведено у пацієнтів з кістковими дефектами розміром від 3 до 5 см (OR=37,15, CI (4,26-323,87), p=0,000001). Наявність кісткових дефектів розміром понад 5 см асоційована з вищим ризиком розвитку задовільних результатів лікування (OR=0,04, CI (0,005-0,38), p=0,00005) та нижчими шансами формування хороших клінічних показників (OR=0,04, CI (0,005-0,38), p=0,00005).

У пацієнтів з кістковими дефектами типу В3, встановленими відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок, доведено достовірно вищі шанси розвитку відмінних результатів аутоспонгіозної остеопластики у віддаленому післяопераційному періоді (OR=7,04, CI (1,36-36,40), p=0,02) (табл. 5). Натомість наявність пошкоджень типу С, асоційована з нижчими шансами формування відмінних клінічних показників у віддаленому періоді після аутологічної кісткової трансплантації (OR=0,14, CI (0,03-0,73), p=0,02). У пацієнтів з кістковими дефектами типу С3 встановлено достовірно вищий ризик розвитку задовільних (OR=5,05, CI (1,17-21,83), p=0,02) та незадовільних (OR=7,33, CI (1,39-38,70), p=0,02) результатів аутоспонгіозної остеопластики у віддаленому періоді.

У пацієнтів з кістковими дефектами типу D3 А, визначеними відповідно до класифікації Tetsworth, доведено достовірно вищі шанси формування відмінних (OR=5,53, CI (1,00-30,56), p=0,03) та хороших (OR=3,48, CI (1,14-10,67), p=0,02) клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики та нижчий ризик розвитку задовільних клінічних показників у віддаленому післяопераційному періоді (OR=0,27, CI (0,07-0,98), p=0,03) (табл. 6). У поранених з кістковими дефектами типу D3 В встановлено достовірно вищий ризик формування задовільних результатів лікування у віддаленому періоді після аутологічної кісткової трансплантації (OR=5,80, CI (1,63-20,63), p=0,004). Достовірно вищі шанси розвитку незадовільних клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики встановлено у пацієнтів з кістковими дефектами типу D3 С (OR=343,00, CI (18,01-6533,86), p<0,00000001).

Отримані нами дані свідчать про високу залежність клінічного результату аутоспонгіозної остеопластики від характеристик кісткового дефекту, насамперед його розміру та анатомо-топографічного типу, що підтверджено даними сучасних наукових досліджень [7, 8, 13]. Зокрема нами встановлено, що збільшення розміру кісткового дефекту пов'язано з достовірно гіршими клінічними результатами аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді ($\tau=-0,70$, $p\leq 0,00001$).

У обстежених нами пацієнтів з дефектами кісткової тканини розміром понад 5 см з достовірно вищою частотою спостерігали формування задовільних та незадовільних результатів лікування ($p\leq 0,00001$), а також розвиток

Таблиця 4 – Прогностична цінність розміру кісткового дефекту щодо клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики

Розмір дефекту	Клінічні результати лікування			
	відмінні	хороші	задовільні	незадовільні
< 3 см	p=0,00004 OR=2,94 CI (6,14-18,14)	p=0,03	p=0,09	p=0,27
3-5 см	p=0,66	p=0,00001 OR=37,15 CI (4,26-323,87)	p=0,13	p=0,00003
> 5 см	p=0,006	p=0,00005 OR=0,04 CI (0,005-0,38)	p=0,02 OR=4,00 CI (1,17-13,72)	p=0,00003

достовірно гірших клінічних показників аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому післяопераційному періоді ($\tau=-0,61$, $p=0,00000000001$). Зазначені дані підкріплюють відоме твердження щодо наявності критичних меж кісткового дефекту відносно клінічної ефективності застосування традиційної аутоспонгіозної остеопластики [13, 14]. Натомість, наявність кісткового дефекту розміром до 3 см у обстежених асоційована з кращими клінічними результатами аутологічної кісткової трансплантації ($\tau=+0,36$, $p=0,00007$) та значущо вищими шансами формування відмінних клінічних показників (OR=2,94, CI (6,14-18,14), p=0,00004), що узгоджується з даними інших авторів, які вказують на вирішальну роль обсягу втраченої кісткової тканини у прогнозуванні остеорегенераторного потенціалу [8, 11].

Аналогічну тенденцію простежували при аналізі типів кісткових дефектів, встановлених згідно з класифікацією Tetsworth. Доведено, що наявність по-

Таблиця 5 – Прогностична цінність типу дефекту довгих кісток при бойовій травмі кінцівок щодо клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики

Тип дефекту	Клінічні результати лікування			
	відмінні	хороші	задовільні	незадовільні
В3	p=0,02 OR=7,04 CI (1,36-36,40)	p=0,35	p=0,009	p=0,09
С-тип	p=0,02 OR=0,14 CI (0,03-0,73)	p=0,35	p=0,009	p=0,09
С1	p=0,78	p=0,08	p=0,53	p=0,01
С2	p=0,28	p=0,95	p=0,74	p=0,45
С3	p=0,05	p=0,0005	p=0,02 OR=5,05 CI (1,17-21,83)	p=0,02 OR=7,33 CI (1,39-38,70)

Таблиця 6 – Прогностична цінність типу кісткового дефекту відповідно до класифікації Tetsworth щодо клінічних результатів аутоспонгіозної остеопластики

Тип дефекту	Клінічні результати лікування			
	відмінні	хороші	задовільні	незадовільні
D3 А	p=0,03 OR=5,53 CI (1,00-30,56)	p=0,02 OR=3,48 CI (1,14-10,67)	p=0,03 OR=0,27 CI (0,07-0,98)	p=0,001
D3 В	p=0,19	p=0,61	p=0,004 OR=5,80 CI (1,63-20,63)	p=0,05 OR=0,17 CI (0,02-1,54)
D3 С	p=0,09	p=0,002	p=0,23	$p\leq 0,00000001$ OR=343,00 CI (18,01-6533,86)

мірних кісткових дефектів типу D3 А розміром 2-4 см у обстежених пов'язана з достовірно кращими результатами лікування ($\tau=+0,53$, $p=0,000000004$) та вищими шансами формування відмінних ($OR=5,53$, $CI (1,00-30,56)$, $p=0,03$) та хороших ($OR=3,48$, $CI (1,14-10,67)$, $p=0,02$) клінічних показників. Натомість у поранених з дефектами кісткової тканини типу D3 С, понад 8 см, встановлено значущо вищі шанси формування незадовільних результатів аутологічної кісткової трансплантації у віддаленому періоді ($OR=343,00$, $CI (18,01-6533,86)$, $p\leq 0,00000001$). Отримані дані свідчать про клінічну релевантність зазначеної класифікації, застосування якої на думку Hrytsai et al. (2024) дозволить потенційно полегшити вибір найбільш прийнятної стратегії лікування для оптимізації подальших клінічних результатів [8].

Отже, розмір кісткового дефекту є одним із ключових прогностичних чинників успішності остеопластики, проте, не менш важливою є оцінка типу дефекту.

У пацієнтів з кістковими дефектами типу В3, визначеними відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок, встановлено достовірно кращі клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики ($\tau=+0,43$, $p=0,000002$), що підтверджено прямим порівнянням кореляційним зв'язком між досліджуваними ознаками, а також доведено вищі шанси розвитку відмінних клінічних показників у віддаленому періоді ($OR=7,04$, $CI (1,36-36,40)$, $p=0,02$). На противагу цьому, у обстежених з типами кісткового дефекту С3 доведено значущо вищі шанси розвитку задовільних ($OR=5,05$, $CI (1,17-21,83)$, $p=0,02$) та незадовільних ($OR=7,33$, $CI (1,39-38,70)$, $p=0,02$) результатів аутоспонгіозної остеопластики. Подібну тенденцію описували Burianov et al. (2024), які вказували на гірші результати реконструктивних втручань за наявності субтотальних ушкоджень, окрім того, важливість збереження анатомічної цілісності фрагментів додатково підтверджено у ряді публікацій [3, 8, 11].

Згідно результатів проведеного дослідження доведено високу прогностичну цінність визначення розміру і типу кісткового дефекту при плануванні аутоспонгіозної остеопластики. Отримані прогностичні моделі можуть бути інтегровані у передопераційний

алгоритм стратифікації ризиків та вибору оптимального методу лікування, що дозволить підвищити ефективність аутоспонгіозної остеопластики, знизити ризик ускладнень і сприяти індивідуалізації тактики лікування поранених з бойовою травмою.

Висновки.

Таким чином, аналізуючи клінічні результати використання аутологічних кісткових трансплантатів, нами підтверджено високу ефективність методики в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами з дефектами кісткової тканини.

Доведеними факторами, асоційованими з достовірно кращими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики при з вогнепальних переломах з дефектами кісткової тканини є:

- кісткові дефекти величиною до 5 см;
- кісткові дефекти типу D3 А відповідно до класифікації Tetsworth;
- кісткові дефекти типу В3, С1 відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок.

Чинниками, пов'язаними з достовірно гіршими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики у віддаленому післяопераційному періоді, є:

- кісткові дефекти розміром понад 5 см;
- кісткові дефектами типу С2, С3 відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок;
- кісткові дефекти типу D3 В, D3 С відповідно до класифікації Tetsworth;
- кісткові дефекти типу С2 відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок.

Задля підвищення ефективності остеопластичних втручань при вогнепальних переломах, рекомендуємо враховувати отримані результати при виборі оптимального методу заміщення кісткового дефекту.

Перспективи подальших досліджень.

Перспективним напрямком вважаємо розробку науково обґрунтованого підходу до вибору остеопластичного матеріалу при вогнепальних переломах з дефектами кісткової тканини, який враховуватиме тип пошкодження, анатомічну локалізацію дефекту, його розмір, індивідуальні фактори ризику пацієнта, а також чинники, пов'язані з проведеним лікуванням.

References / Література

- Zozulia IS, Volosovets AO, Zozulia AI. Travmatychna khvoroba: dohospitalna dopomoha. Ukr Med Chasopys. 2023;6(158):58-61. DOI: [10.32471/umj.1680-3051.158.247605](https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.158.247605). [in Ukrainian].
- Rudenko M, Dacal A. Patofiziologhiia vohnealnykh ushkodzen mahistralnykh sudyn: analiz suchasnykh doslidzen. Suchasna Medytsyna Farmatsiia ta Psykholohichne Zdorovia. 2023;2(11):18-22. DOI: [10.32689/2663-0672-2023-2-3](https://doi.org/10.32689/2663-0672-2023-2-3). [in Ukrainian].
- Rodionov AV, Nosivets DS, Bets VG, Voronets VV, Denysiuk MA. Khirurhichne likuvannia defektiv kistok kintsivok unaslidok vohnealnykh poranen. Ortop Travmatol Protezuvannia. 2024;4:76-81. DOI: [10.15674/0030-59872024476-81](https://doi.org/10.15674/0030-59872024476-81). [in Ukrainian].
- Korol SO. Kistkova plastyka v systemi spetsializovanoho likuvannia poranenykh z boiovyu travmamy kintsivok. Travma. 2018;19(1):20-26. DOI: [10.2214/1608-1706.1.19.2018.126659](https://doi.org/10.2214/1608-1706.1.19.2018.126659). [in Ukrainian].
- Richter RF, Vater C, Korn M, Ahlfeld T, Rauner M, Pradel W, et al. Treatment of critical bone defects using calcium phosphate cement and mesoporous bioactive glass providing spatiotemporal drug delivery. Bioact Mater. 2023;28:402-419. DOI: [10.1016/j.bioactmat.2023.06.001](https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.06.001).
- Wang W, Yeung KWK. Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: a review. Bioact Mater. 2017;2(4):224-247. DOI: [10.1016/j.bioactmat.2017.05.007](https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.05.007).
- Wei S, Ma JX, Xu L, Gu XS, Ma XL. Biodegradable materials for bone defect repair. Mil Med Res. 2020;7:54. DOI: [10.1186/s40779-020-00280-6](https://doi.org/10.1186/s40779-020-00280-6).
- Hrytsai MP, Kolov HB, Sabadosh VI, Vyderko RV, Polovyi AS, Hutsailiuk VI. Osnovni khirurhichni metody zameshchennia krytychnykh kistkovykh defektiv velykohomilkovoï kistky (ohliad literatury). Terra Orthopaedica. 2024;1:42-49. DOI: [10.37647/2786-7595-2024-120-1-42-49](https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-120-1-42-49). [in Ukrainian].
- Xia Y, Wang H, Li Y, Fu C. Engineered bone cement trigger bone defect regeneration. Front Mater. 2022;9:929618. DOI: [10.3389/fmats.2022.929618](https://doi.org/10.3389/fmats.2022.929618).
- Neer CS II. Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. J Bone Joint Surg Am. 1970;52(6):1077-89.
- Burianov O, Kvasha V, Sobolevskiy Y, Yarmoliuk Y, Klapchuk Y, Los D, Kuprii V, Kolov G. Methodological principles of diagnosis verification and treatment tactics determination in combat limb injuries with bone defects. Orthop Traumatol Prosthet. 2024;4:5-13. DOI: [10.15674/0030-5987202345-13](https://doi.org/10.15674/0030-5987202345-13).

12. Tetsworth KD, Burnand HG, Hohmann E, Glatt V. Classification of bone defects: an extension of the Orthopaedic Trauma Association open fracture classification. *J Orthop Trauma*. 2021;35(2):71-76. DOI: [10.1097/BOT.0000000000001896](https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001896).
13. Klifto KM, Azoury SC, Klifto CS, Mehta S, Levin LS, Kovach SJ. Treatment of Posttraumatic Tibial Diaphyseal Bone Defects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Orthop Trauma*. 2022;36(2):55-64. DOI: [10.1097/BOT.0000000000002214](https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002214).
14. Ninarello D, Ballardini A, Morozzi G, La Barbera L. A comprehensive systematic review of marketed bone grafts for load-bearing critical-sized bone defects. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2024;160:106782. DOI: [10.1016/j.jmbbm.2024.106782](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106782).

ОСОБЛИВОСТІ АУТОСПОНГІОЗНОЇ ОСТЕОПЛАСТИКИ ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМАХ З ДЕФЕКТАМИ КІСКОВОЇ ТКАНИНИ

Фіщенко В. О., Литвинюк О. М.

Резюме. Мета дослідження: охарактеризувати клінічні результати використання аутологічних кісткових трансплантатів в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами, враховуючи особливості дефекту кісткової тканини.

Об'єкт і методи дослідження. Проаналізовано клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики дефектів кісткової тканини 58 поранених з вогнепальними переломами трубчастих кісток, які перебували на стаціонарному лікуванні в травматологічному відділенні КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги» за період 2022-2023 років. Середній вік обстежених – 39,09±9,04 років. Клінічні результати аутоспонгіозної остеопластики виконували з використанням шкали Neer-Grantham-Shelton. Для характеристики пошкоджень використовували класифікацію дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок та класифікацію кісткових дефектів за Tetsworth. Додатково оцінювали й абсолютні значення розміру дефекту кісткової тканини. Статистичну обробку даних виконували з допомогою програмного засобу IBM SPSS Statistics 27.0.1. Статистично значущими вважали результати при рівні ймовірності $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. Клінічний результат аутоспонгіозної остеопластики складав 70,05±15,33 балів. Відмінні результати встановлено у 9 (15,52%) хворих, хороші – у 24 (41,38%) пацієнтів, задовільні – у 17 (29,31%), незадовільні – у 8 (13,79%).

Середній розмір кісткового дефекту становив 5,14±2,16 см. Відповідно до класифікації дефектів довгих кісток при бойовій травмі кінцівок, кісткові дефекти типу В3 встановлено у 9 (15,52%) пацієнтів, у 49 (84,48%) хворих зафіксовано кісткові дефекти типу С, у тому числі, тип С1 – у 17 (29,31%), тип С2 – у 22 (37,93%), тип С3 – у 10 (17,24%). Згідно класифікації Tetsworth у 26 (44,83%) обстежених встановлено кісткові дефекти типу D3 А, у 24 (41,38%) хворих – дефекти типу D3 В, у 8 (13,79%) пацієнтів – типу D3 С.

Доведеними факторами, асоційованими з достовірно кращими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики при вогнепальних переломах з дефектами кісткової тканини є: кісткові дефекти величиною до 5 см ($\tau=+0,61$, $p=0,00000000001$); дефекти типу D3 А ($\tau=+0,53$, $p=0,000000004$); В3 ($\tau=+0,43$, $p=0,000002$), С1 ($\tau=+0,24$, $p=0,007$). Чинниками, пов'язаними з достовірно гіршими клінічними результатами аутоспонгіозної остеопластики є: кісткові дефекти розміром понад 5 см ($\tau=-0,61$, $p=0,00000000001$); дефекти типу С2 ($\tau=-0,18$, $p=0,047$), С3 ($\tau=-0,47$, $p=0,0000001$); D3 В ($\tau=-0,20$, $p=0,03$), D3 С ($\tau=-0,48$, $p=0,0000001$).

Аналізуючи прогностичну цінність досліджуваних факторів, достовірно вищі шанси формування відмінних результатів лікування встановлено у пацієнтів з кістковими дефектами до 3 см (OR=2,94, CI (6,14-18,14), $p=0,00004$), дефектами типу В3 (OR=7,04, CI (1,36-36,40), $p=0,02$), типу D3 А (OR=5,53, CI (1,00-30,56), $p=0,03$). Вищі шанси розвитку хороших результатів аутоспонгіозної остеопластики доведено у пацієнтів з кістковими дефектами розміром 3-5 см (OR=37,15, CI (4,26-323,87), $p=0,000001$), дефектами типу D3 А (OR=3,48, CI (1,14-10,67), $p=0,02$). Достовірно вищий ризик формування задовільних результатів лікування встановлено за наявності кісткових дефектів розміром понад 5 см (OR=0,04, CI (0,005-0,38), $p=0,00005$), дефектів типу С3 (OR=5,05, CI (1,17-21,83), $p=0,02$), типу D3 В (OR=5,80, CI (1,63-20,63), $p=0,004$). Достовірно вищі шанси розвитку незадовільних клінічних результатів встановлено у пацієнтів з кістковими дефектами типу С3 (OR=7,33, CI (1,39-38,70), $p=0,02$), D3 С (OR=343,00, CI (18,01-6533,86), $p \leq 0,00000001$).

Висновки. Таким чином, нами підтверджено високу ефективність методики аутологічної кісткової трансплантації в лікуванні пацієнтів з вогнепальними переломами з дефектами кісткової тканини.

Ключові слова: бойова травма, кісткові дефекти, вогнепальні переломи, остеопластика, аутологічна трансплантація.

FEATURES OF AUTOLOGOUS CANCELLOUS BONE GRAFTING IN GUNSHOT FRACTURES WITH BONE DEFECTS

Fishchenko V. O., Lytvyniuk O. M.

Abstract. The aim of the study: to evaluate the clinical outcomes of autologous cancellous bone grafting in patients with gunshot-induced long bone fractures, with specific attention to the characteristics of associated bone defects.

Object and research methods. This study analyzed the clinical outcomes of autologous cancellous bone grafting in 58 patients with gunshot fractures of long bones treated at the Department of Traumatology, Vinnytsia City Emergency Clinical Hospital, during 2022-2023. The mean patient age was 39.09±9.04 years. Clinical outcomes were assessed using the Neer-Grantham-Shelton scale. Injuries were classified using the Long Bone Defect Classification System for Combat-Related Limb Trauma and the Tetsworth classification. The absolute size of each bone defect was also measured. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27.0.1, with significance defined as $p \leq 0.05$.

Research results and their discussion. The mean clinical outcome score was 70.05±15.33 points. Excellent outcomes were observed in 9 (15.52%) patients, good in 24 (41.38%), satisfactory in 17 (29.31%), and poor in 8 (13.79%).

The mean bone defect size was 5.14±2.16 cm. According to the Long Bone Defect Classification, B3-type defects were identified in 9 (15.52%) patients, and C-type defects in 49 (84.48%): C1 in 17 (29.31%), C2 in 22 (37.93%), and C3 in 10 (17.24%). According to the Tetsworth classification, D3 A-type defects were identified in 26 (44.83%) patients, D3 B-type in 24 (41.38%), and D3 C-type in 8 (13.79%).

Significantly better clinical outcomes were associated with bone defects less than or equal to 5 cm ($\tau=+0.61$, $p<0.0000000001$), and with defect types D3 A ($\tau=+0.53$, $p<0.000000004$), B3 ($\tau=+0.43$, $p<0.000002$), and C1 ($\tau=+0.24$, $p=0.007$). Poorer outcomes were significantly associated with defects greater than 5 cm ($\tau=-0.61$, $p<0.0000000001$), as well as types C2 ($\tau=-0.18$, $p=0.047$), C3 ($\tau=-0.47$, $p<0.0000001$), D3 B ($\tau=-0.20$, $p=0.03$), and D3 C ($\tau=-0.48$, $p<0.0000001$).

There was a significantly higher likelihood of achieving excellent outcomes in patients with bone defects less than 3 cm (OR=2.94, 95% CI: 6.14-18.14, $p=0.00004$), as well as in those with B3-type (OR=7.04, 95% CI: 1.36-36.40, $p=0.02$) and D3 A-type defects (OR=5.53, 95% CI: 1.00-30.56, $p=0.03$). Good outcomes were more likely in patients with defects measuring 3–5 cm (OR=37.15, 95% CI: 4.26-323.87, $p=0.000001$) and in those with D3 A-type defects (OR=3.48, 95% CI: 1.14-10.67, $p=0.02$). A significantly increased risk of only satisfactory outcomes was observed in patients with defects greater than 5 cm (OR=0.04, 95% CI: 0.005-0.38, $p=0.00005$), and in those with C3-type (OR=5.05, 95% CI: 1.17-21.83, $p=0.02$) or D3 B-type defects (OR=5.80, 95% CI: 1.63-20.63, $p=0.004$). Poor clinical outcomes were significantly more likely in patients with C3-type (OR=7.33, 95% CI: 1.39-38.70, $p=0.02$) and D3 C-type defects (OR=343.00, 95% CI: 18.01-6533.86, $p<0.00000001$).

Conclusions. This study confirms the high clinical effectiveness of autologous cancellous bone grafting in the treatment of gunshot-induced long bone fractures with segmental bone defects.

Key words: combat trauma, bone defects, gunshot fractures, osteoplasty, autologous bone grafting.

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

Fishchenko V. O.: <https://orcid.org/0000-0001-9811-7861>^{AF}

Lytvyniuk O. M.: <https://orcid.org/0009-0005-8447-7803>^{BCDE}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Lytvyniuk Oleksandr Mykolaiovych / Литвинюк Олександр Миколайович
National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya / Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова
Ukraine, 21018, Vinnytsia, 56 Pirogov str. / Україна, 21018, м. Вінниця, вул. Пирогова 56
Tel.: +380977739907 / Тел.: +380977739907
E-mail: md.lytvyniuk@gmail.com

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

Received 29.01.2025 / Стаття надійшла 29.01.2025 року
Accepted 01.05.2025 / Стаття прийнята до друку 01.05.2025 року