

Том 3 | № 1 | 2026

ISSN 3083-5925 (print)
ISSN 3083-6352 (online)

Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine

Архів офтальмології та
щелепно-лицевої хірургії України



НАЦІОНАЛЬНИЙ
МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ О.О. БОГОМОЛЬЦЯ



Асоціація дитячих
офтальмологів
та оптометристів
України



Асоціація фахівців з очепластики та очного протезування
ASOEP
ASSOCIATION OF SPECIALISTS IN OCULOPLASTICS AND EYE PROSTHETICS



ease



www.mif-ua.com

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

Громадська організація «Асоціація дитячих офтальмологів та оптометристів України»

Громадська організація «Асоціація фахівців з офтальмопластики та очного протезування»

Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine

**Архів офтальмології
та щелепно-лицевої хірургії України**

**Archive of Ophthalmology
and Maxillofacial Surgery of Ukraine**

Спеціалізований рецензований науково-практичний журнал

Засновано у вересні 2023 року

Періодичність виходу: 4 рази на рік

Том 3, № 1, 2026



mif-ua.com



Open Journal System

Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine

Спеціалізований рецензований
науково-практичний журнал

Том 3, № 1, 2026

ISSN 3083-5925 (print) ISSN 3083-6352 (online)
УДК 617.7+617.52:001.891/.895(051)=161.2=111



Засновник

Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця

Співзасновники:

Громадська організація «Асоціація дитячих

офтальмологів та оптометристів України»

Громадська організація «Асоціація фахівців
з офтальмопластики та очного протезування»

Поштова адреса та електронна пошта суб'єкта у сфері медіа:

б-р Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна
kancnmu@nmu.ua г.palyvoda@nmu.ua

Телефон суб'єкта:

(044) 234-92-76, (044) 234-40-62

<https://maxopht-journal.com>
www.mif-ua.com

Електронні адреси для звертань:

З питань публікації статей maxopht@nmu.ua

**З питань розміщення реклами та інформації
про лікарські засоби** v_iliyna@ukr.net

Регстрація: ідентифікатор медіа R30-05514. Засновано та
видається друковане медіа — журнал «Архів офтальмології та
щелепно-лицевої хірургії України» (рішення № 2753 Національної
ради України з питань телебачення та радіомовлення від
26.09.2024 (протокол № 25))

Українською та англійською мовами

Тираж 100 прим.

Спосіб розповсюдження —
за передплатою, роздрібний продаж
Формат: 60×84/8. Ум. друк. арк. 11,16
Зам. 2026-aomsu-5.

Видавець Заславський О.Ю.
oleksandrzaslavsky@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2128 від 13.05.2005

Друк: ТОВ «Книга-плюс»
Юридична адреса: Автопаркова, 7, м. Київ

Головний редактор

Риков Сергій Олександрович
(Київ, Україна)

Заступник головного редактора

Копчак Андрій Володимирович
(Київ, Україна)

Відповідальний секретар

Паливода Роман Станіславович
(Київ, Україна)

Редакційна колегія

За напрямком «Щелепно-лицева хірургія»

Аветіков Д.С. (Полтава, Україна)
Астапенко О.О. (Київ, Україна)
Варес Я.Е. (Львів, Україна)
Варжапетян С.Д. (Запоріжжя, Україна)
Гудар'ян О.О. (Дніпро, Україна)
Кравець О.В. (Київ, Україна)
Матрос-Таранець І.М. (Дніпро, Україна)
Мищенко О.М. (Запоріжжя, Україна)
Нагірний Я.П. (Тернопіль, Україна)
Поліщук С.С. (Вінниця, Україна)
Чепурний Ю.В. (Київ, Україна)
Чопчик В.Д. (Київ, Україна)
Boffano Paolo (Amsterdam, Netherlands)
Dowgierd Krzysztof (Olsztyn, Poland)
Forouzanfar Tymour (Amsterdam, Netherlands)
Khonsari Roman Hossein (Paris, France)
Kozakiewicz Marcin (Łódź, Poland)
Mesimäki Karri (Helsinki, Finland)
Olszewski Raphael (Brussels, Belgium)
Suharschi Ilie (Chişinău, Republic of Moldova)
Snäll Johanna (Helsinki, Finland)
Testelin Sylvie (Amiens, France)

За напрямком «Офтальмологія»

Барінов Ю.В. (Київ, Україна)
Бездітко П.А. (Харків, Україна)
Венгер Л.В. (Одеса, Україна)
Гріжмальська К.Ю. (Вінниця, Україна)
Гудзь А.С. (Львів, Україна)
Дуфинець В.А. (Мукачеве, Україна)
Жабоедов Д.Г. (Київ, Україна)
Жмурик Д.В. (Київ, Україна)
Карлійчук М.А. (Чернівці, Україна)
Коновалова Н.В. (Одеса, Україна)
Петренко О.В. (Київ, Україна)
Скрипник Р.Л. (Київ, Україна)
Ульянова Н.А. (Одеса, Україна)
Цибульська Т.Є. (Запоріжжя, Україна)
Шаргородська І.В. (Київ, Україна)
Allen Richard (Austin, TX, USA)
Hjortdal Jesper (Aarhus, Denmark)
Nessim Maged (Birmingham, Great Britain)

Редакція не завжди поділяє думку автора публікації. Відповідальність за вірогідність фактів, власних імен та іншої інформації, використаної в публікації, несе автор. Передрук та інше відтворення в якій-небудь формі в цілому або частково статей, ілюстрацій або інших матеріалів дозволені тільки при попередній письмовій згоді редакції та з обов'язковим посиланням на джерело. Усі права захищені.

© Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, 2026
© Громадська організація «Асоціація дитячих офтальмологів та оптометристів України», 2026
© Громадська організація «Асоціація фахівців з офтальмопластики та очного протезування», 2026
© Заславський О.Ю., 2026

Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine

*Specialized reviewed
practical scientific journal*

Volume 3, № 1, 2026

ISSN 3083-5925 (print) ISSN 3083-6352 (online)
UDC 617.7+617.52):001.891/.895)(051)=161.2=111



Founders

Bogomolets
National Medical University

Co-founders:

Public organization "Association of pediatric
ophthalmologists and optometrists"

Public organization "Association of specialists
of ophthalmoplasty and ocular prosthetics"

Mailing address and email of the media entity:

blvd. Tarasa Shevchenko, 13, Kyiv, 01601, Ukraine
kancnmu@nmu.ua r.palyvoda@nmu.ua

Entity phone number:

(044) 234-92-76, (044) 234-40-62

<https://maxopht-journal.com>
www.mif-ua.com

Correspondence e-mails:

Department of publishing article maxopht@nmu.ua

Advertising and Drug

Promotion Department v_iliyna@ukr.net

Registration: Media identifier R30-05514. The printed media is
founded and published — the journal "Archive of Ophthalmology and
Maxillofacial Surgery of Ukraine" (Decision of the National Council
of Ukraine on Television and Radio Broadcasting No. 2753 dated
September 26, 2024 (minutes No. 25))

In Ukrainian and English

Circulation 100 copies

Distribution method — subscription, retail

Folio 60×84/8. Printer's sheet 11,16
Order 2026-aomsu-5.

Publisher Zaslavsky O.Yu.
oleksandrzaslavsky@gmail.com
Publishing entity certificate
ДК № 2128 dated 13.05.2005

Print: Knyha-plus LLC
Legal address: Avtoparkova, 7, Kyiv

Editor-in-Chief

Sergiy Rykov
(Kyiv, Ukraine)

Deputy Editor

Andrii Kopchak
(Kyiv, Ukraine)

Executive Secretary

Roman Palyvoda
(Kyiv, Ukraine)

Editorial Board

Maxillofacial Surgery

Astapenko O.O. (Kyiv, Ukraine)
Avetikov D.S. (Poltava, Ukraine)
Chepurnyi Y.V. (Kyiv, Ukraine)
Chopchik V.D. (Kyiv, Ukraine)
Gudarian O.O. (Dnipro, Ukraine)
Kravets O.V. (Kyiv, Ukraine)
Matros-Taranets I.M. (Dnipro, Ukraine)
Mishchenko O.N. (Zaporizhzhia, Ukraine)
Nahirnyi Y.P. (Ternopil, Ukraine)
Polishchuk S.S. (Vinnytsia, Ukraine)
Vares Y.E. (Lviv, Ukraine)
Varzhapetian S.D. (Zaporizhzhia, Ukraine)
Boffano Paolo (Amsterdam, Netherlands)
Dowgierd Krzysztof (Olsztyn, Poland)
Forouzanfar Tymour (Amsterdam, Netherlands)
Khonsari Roman Hossein (Paris, France)
Kozakiewicz Marcin (Łódź, Poland)
Mesimäki Karri (Helsinki, Finland)
Olszewski Raphael (Brussels, Belgium)
Suharschi Ilie (Chişinău, Republic of Moldova)
Snäll Johanna (Helsinki, Finland)
Testelin Sylvie (Amiens, France)

Ophthalmology

Barinov Y.V. (Kyiv, Ukraine)
Bezdiitko P.A. (Kharkiv, Ukraine)
Dufynets V.A. (Mukachevo, Ukraine)
Grizhmalska K.Yu. (Vinnytsia, Ukraine)
Hudz A.S. (Lviv, Ukraine)
Karliychuk M.A. (Chernivtsi, Ukraine)
Konovalova N.V. (Odesa, Ukraine)
Petrenko O.V. (Kyiv, Ukraine)
Shargorodska I.V. (Kyiv, Ukraine)
Skrypnyk R.L. (Kyiv, Ukraine)
Tsybul'ska T.Ye. (Zaporizhzhia, Ukraine)
Ulianova N.A. (Odesa, Ukraine)
Venger L.V. (Odesa, Ukraine)
Zhaboiedov D.G. (Kyiv, Ukraine)
Zhmuryk D.V. (Kyiv, Ukraine)
Allen Richard (Austin, TX, USA)
Hjortdal Jesper (Aarhus, Denmark)
Nessim Maged (Birmingham, Great Britain)

The editorial board not always shares the author's opinion. The author is responsible for the significance of the facts, proper names and other information used in the paper. No part of this publication, pictures or other materials may be reproduced or transmitted in any form or by any means without permission in writing form with reference to the original. All rights reserved.

© Bogomolets National Medical University, 2026
© Public organization "Association of pediatric ophthalmologists and optometrists", 2026
© Public organization "Association of specialists of ophthalmoplasty and ocular prosthetics", 2026
© Zaslavsky O.Yu., 2026

Зміст

Contents

Оригінальні дослідження	Original Researches
Голдак А.Р., Пастернак Ю.Б., Медвідь Ю.О., Лозинська Н., Варес Я.Я., Варес Я.Е. Структура бойових травматичних ушкоджень щелепно-лицьової ділянки в Україні: ретроспективне одноцентрове дослідження 6	A.R. Goldak, Yu.B. Pasternak, Yu.O. Medvid, N. Lozynska, Ya.Ya. Vares, Ya.E. Vares A structure of war-related traumatic maxillofacial injuries in Ukraine: a retrospective monocentric study 6
Pruszyńska P., [Kozakiewicz M.], Wach T., Копчак А.В., Кустрьо Т.В. Двоцентрова оцінка впливу типу класифікації на частоту переломів виростка нижньої щелепи 12	P. Pruszyńska, [M. Kozakiewicz], T. Wach, A.V. Kopchak, T.V. Kustro A two-center evaluation of the effect of classification type on the reported incidence of mandibular condyle fractures 12
Аветіков Г.Д., Іваницька О.С., Карасюнок А.Є., Гаврильєв В.М., Скікевич М.Г., Локес К.П. Вплив методики видалення нижнього третього моляра на стан післяекстракційної рани 18	H.D. Avetikov, O.S. Ivanytska, A.Ye. Karasiunok, V.M. Havryliiev, M.H. Skikevych, K.P. Lokes The impact of mandibular third molar extraction technique on the condition of the post-extraction wound 18
Гринюк О.І., Мирошніченко М.С. Застосування багатокомпонентного субстрату для кісткової пластики при усуненні дефектів щелеп: експериментальне дослідження <i>in vivo</i> 23	O.I. Gryniuk, M.S. Miroshnychenko Application of a multicomponent substrate for bone grafting in the correction of jaw defects: an experimental study <i>in vivo</i> 23
Астахов М.О., Паливода Р.С. Використання інструментів на основі штучного інтелекту в рутинній практиці лікаря стоматолога-хірурга 31	M.O. Astakhov, R.S. Palyvoda Use of artificial intelligence-based tools in the routine practice of dental surgeons 31
Буднікова А.В., Шпачинський О.С., Копчак А.В. Комплексна оцінка кісткової тканини альвеолярного відростка за допомогою текстурних біомаркерів: систематичний огляд 36	A.V. Budnikova, O.S. Shpachynskyi, A.V. Kopchak Comprehensive assessment of alveolar bone using texture biomarkers: a systematic review 36
Свирида О.С., Свирида Е.О., Стебловський Д.В., Торопов О.А., Яценко П.І., Аветіков Д.С. Вплив математичного обґрунтування оперативного доступу при остеосинтезі на клінічний перебіг перелому нижньої щелепи 44	O.S. Svyryda, E.O. Svyryda, D.V. Steblovskyi, O.A. Toropov, P.I. Yatsenko, D.S. Avetikov The impact of the mathematical justification of the surgical approach in osteosynthesis on the clinical course of mandibular fractures 44
Скрипник Р.Л., Павленко Р.О. Вплив первинного заднього капсулорексису на профіль аберацій високого порядку у пацієнтів після факоемулсифікації катаракти 50	R.L. Skrypnyk, R.O. Pavlenko Impact of primary posterior capsulorhexis on high-order aberrations following phacoemulsification 50
Цибульська Т.Є., Тіткова О.Ю., Борсук С.О. Математична модель прогнозу ймовірності прогресування міопії в дитячому віці 55	T.Ye. Tsybulska, O.Yu. Titkova, S.O. Borsuk A mathematical model for predicting the likelihood of myopia progression in children .. 55

<i>Венгер А.Ю.</i> Прогностична цінність аполіпопротеїну J в оцінці ризику прогресування діабетичної ретинопатії залежно від модифікуючих чинників 60	<i>A.Yu. Venger</i> Prognostic value of apolipoprotein J in assessing the risk of progression of diabetic retinopathy depending on modifying factors 60
<i>Бездітко П.А., Мужичук О.П., Нікітіна О.С., Боева Ю.Ю., Гончарь О.М., Панченко М.В., Павлюченко О.С.</i> Травматична оптична нейропатія при мінно-вибуховій травмі: особливості патогенезу зсувної деформації та клінічний випадок відновлення зорових функцій у дитини 66	<i>P.A. Bezditko, O.P. Muzhychuk, O.S. Nikitina, Yu.Yu. Boieva, O.M. Honchar, M.V. Panchenko, O.S. Pavliuchenko</i> Traumatic optic neuropathy in blast-mine injury: features of shear deformation pathogenesis and a clinical case of visual function recovery in a child 66
<i>Скрипник Р.Л., Соломаха К.М.</i> Зоровий аналізатор при цукровому діабеті: результати ОКТ, електрофізіологічних досліджень та оцінки зіничного циклу 73	<i>R.L. Skrypnyk, K.M. Solomakha</i> Visual system analysis in diabetes mellitus: results of OCT, electrophysiological studies, and pupil cycle assessment 73
<i>Гріжимальська К.Ю., Комаровська І.В., Андрушкова О.О.</i> Вторинна глаукома як рідкісне ускладнення токсоплазмозного увеїту 80	<i>K.Yu. Hrizhymalska, I.V. Komarovska, O.O. Andrushkova</i> Secondary glaucoma as a rare complication of toxoplasmic uveitis 80
<i>Гузун О.В., Коновалова Н.В.</i> Cumulative Burden Index як інтегральний маркер резистентного перебігу неоваскулярної глаукоми після транссклеральної циклофотокоагуляції: проспективне 36-місячне дослідження 85	<i>O.V. Guzun, N.V. Konovalova</i> Cumulative Burden Index as an integrative marker of treatment resistance in neovascular glaucoma after transscleral cyclophotocoagulation: a prospective 36-month study 85

Пам'ять

<i>Терлецький Р., Павличук Т., Dowgierd K., Чепурний Ю., Копчак А., Wach T.</i> Марцін Козакевич (1969–2026) — хірург, науковець, вчитель і друг України: видатні досягнення, підтримка України та особисті спогади 92
--

Memory

<i>R. Terletskyi, T. Pavlychuk, K. Dowgierd, Yu. Chepurnyi, A. Kopchak, T. Wach</i> Marcin Kozakiewicz (1969–2026) — surgeon, scientist, teacher and friend of Ukraine: outstanding achievements, support for Ukraine and personal memories 92
--

UDC 616.716.4-001-06:355.01(477)

DOI: <https://doi.org/10.22141/aomfs.3.1.2026.39>A.R. Goldak^{1,2}, Yu.B. Pasternak^{1,2}, Yu.O. Medvid^{1,2},
N. Lozynska^{1,2}, Ya.Ya. Vares^{1,2}, Ya.E. Vares^{1,2}¹ Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine² Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine

A structure of war-related traumatic maxillofacial injuries in Ukraine: a retrospective monocentric study

Abstract. Background. The full-scale Russian invasion of Ukraine which began in February 2022 has been accompanied by significant humanitarian and medical challenges, linked to a high number of civilian and military casualties as well as the Ukrainian clinicians' lack of experience in diagnosis and treatment of gunshot and blast injuries. Alongside the rapid adaptation of civilian and military medical facilities to the new working conditions and involvement of a high number of international medical missions, one of the key priorities of the Ukrainian healthcare system has been the creation of centers of excellence in the area of war trauma. One example of such a facility is Superhumans Center. The objective of this study was to analyze the prevalence and nature of maxillofacial injuries in patients who received care at the Superhumans Center for Plastic and Reconstructive Surgery. **Materials and methods.** A retrospective monocentric study was conducted, evaluating demographics, etiology, and localization of combat-related maxillofacial injuries and their combination with trauma of other organs and tissues. The obtained results were compared with those of similar studies conducted in Ukraine and foreign countries that experienced military conflict during the past 20 years. **Results.** Among the 215 reviewed cases, men constituted 97.6 %. The military to civilian ratio was 29.7 : 1. Over 75.0 % of the casualties were younger than 44 years. Maxillofacial blast injuries constituted 75.3 % of all cases, and gunshot injuries comprised 24.7 %. Most frequently (52.1 %), an injury of the mandible or the surrounding soft tissues was present; injuries of the maxilla (27.4 %) and the zygomatico-orbital complex (23.7 %) were rarer. In 73.5 % of cases, concomitant injuries were present, most commonly trauma of extremities and neurotrauma. **Conclusions.** Blast injury from different munition types is the main cause of maxillofacial injuries, and the proportion of such injuries in the overall scope of traumatic injuries is consistently high. The fact that 73.5 % of casualties with maxillofacial injuries have concomitant injuries, particularly of the brain, suggests the urgency of need in the interdisciplinary approach to diagnosis and treatment of the aforementioned segment of casualties.

Keywords: maxillofacial injuries; traumatic injuries; concomitant injuries

Introduction

Since February 2022 combat trauma remains a significant issue in Ukraine with ongoing conflicts leading to a high number of injuries among civilians and military personnel. The main challenges faced with the full-scale invasion of Russian troops were significant number of patients with polytrauma, limbs loss, cranio-maxillofacial trauma, nature and diversity of the damaging factors (gunshot, blast, thermal, acoustic

etc.), lack of experience and protocols in the management of military trauma, insufficient number of specialists in the field of maxillofacial surgery, plastic surgery, microsurgery etc. [1].

From the very beginning of the military aggression against Ukraine, three main areas of care have emerged:

— treatment of injured civilians/soldiers in Ukrainian civil or military hospitals (with/without foreign specialists involvement);

© «Архів офтальмології та щелепно-лицьової хірургії України» / «Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine», 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Варес Ян Евальдович, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицьової хірургії, ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», вул. Пекарська, 69, м. Львів, 79010, Україна; e-mail: vares-dent@ukr.net; щелепно-лицьовий хірург, Superhumans Center (Благодійна організація "Благодійний фонд "Суперлюди"), м. Львів — м. Винники, Україна

For correspondence: Yan Vares, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Pekarska st., 69, Lviv, 79010, Ukraine; e-mail: vares-dent@ukr.net; Maxillofacial Surgeon, Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine

Full list of authors information is available at the end of the article.

- temporary hospitals in nearby countries (e.g., Poland);
- secondary reconstructive surgeries in hospitals abroad [2–4].

At the same time, treatment of patients abroad was accompanied by a dozen of drawbacks, such as logistics (transportation of patients with limited mobility), need for multiple entrance (visa etc.), housing problem, language barriers, prolonged patient absence from home which all together negatively affected the psycho-emotional state of the patients and their families [5–7].

In order to avoid the majority of above-mentioned problems in 2023 owing to huge support of Ukrainian and international governmental and non-governmental organizations, philanthropists a state-of-the-art war trauma center “Superhumans” was born from the urgent need to respond to the devastating consequences of war [8].

Thus, the aim of this study is to analyze the prevalence and characteristics of war-related injuries of maxillofacial area through a retrospective analysis of “Superhumans” patient’s database and to compare them with similar data from other investigations.

Materials and methods

A search of the literature over the past 20 years was conducted in the scientometric medical databases SciVerse, PubMed-NCBI, Medline, CochraneLibrary, EMBASE, and ResearchGate using the keywords: “war-related maxillofacial injuries”, “combat maxillofacial injuries”, “head and neck combat injuries”, “gunshot facial injuries”, “blast facial injuries”, and “combat facial wounds”. A total of 70 sources in English and Ukrainian were analyzed, from which those related to the structure of maxillofacial injuries during warfare were selected.

An analysis of medical records of 215 patients of the Superhumans Center for Plastic and Reconstructive Surgery between March 22, 2024, and September 22, 2025, was conducted. The inclusion criteria were: a recorded injury to the cranio-maxillofacial area; a filled out online application form or registration via the call-center; an available X-ray of the cranio-maxillofacial region (OPG, CBCT, MSCT); a signed diagnostics and treatment informed consent form.

The following criteria were considered: age, gender, social status (military or civilian), etiology (gunshot, blast injury, including injury caused by fragments of mortar shells, mines, missiles, bombs, or drones).

During the examination of the maxillofacial region, the localization of the injury was determined (maxilla, mandible, cranio-maxillofacial region, orbit, nose, alveolar processes), as well as the presence of bone defects and abnormalities, oro-antral or oro-nasal communications.

The presence of concomitant injuries involving the organs of the maxillofacial region and the brain, chest, abdominal cavity, and limbs was also assessed, as well as the presence of combined injuries (burns, etc.).

Statistical analysis was performed using SPSS version 19.0 (IBM Corp.).

Results

Among 215 cases, 97.6 % of the patients were men, 2.4 % women. The military to civilian ratio was 29.7 : 1. The age of

Table 1. Demographic characteristics of the injured persons

Characteristics	Types	n (%)
Sex	Male	210 (97.6)
	Female	5 (2.4)
Age	15–24	18 (8.4)
	25–44	144 (67.0)
	45–59	48 (22.3)
	60–74	5 (2.3)
Social status	Military	208 (96.7)
	Civilian	7 (3.2)

the patients ranged from 19 to 65 (38.2 ± 9.9). The demographic characterization of the casualty, including the age distribution as per the WHO classification is provided below in Table 1. The blast injuries constituted 75.3 % of all trauma; gunshot — 24.7 %.

Isolated injuries of the maxillofacial area were diagnosed in 57 (26.5 %) of the cases. Injuries of the maxilla were observed in 59 (27.4 %) cases, and 40 (18.6 %) had concomitant bone defects, and 23 (10.7 %) of them had persistent oro-nasal or oro-antral communications. In 30 (13.9 %) of the patients injuries of the maxilla were combined with mandibular fractures; 11 (5.1 %) had injuries to the soft tissues and bony structure of the nose, 10 (4.6 %) — injuries of the zygomatico-orbital complex. 16 (7.4 %) casualties had massive injuries of the midface, including the maxilla, zygomatico-orbital complexes, orbits, and nose.

Injuries of the zygomatico-orbital complexes were observed in 51 (23.7 %) patients, nose tissue — in 66 (30.7 %). 64 (29.6 %) of the examined patients reported visual disturbances, ranging from decreased or lost vision, diplopia, and impaired ocular motility to complete loss of the eye due to injury or enucleation.

Mandibular fractures with associated soft tissue injuries were found in 112 (52.1 %) of the patients, with 25 (11.6 %) of them exhibiting bone defects. The distribution of mandibular injuries by location is shown in Fig. 1.

In 10 (4.6 %) of the injured, injuries to the mandible were combined with nasal injuries, in 7 (3.2 %) — with fractures of the zygomatic-orbital complex, and in another 10 (4.6 %) — with injuries to the zygomatic-orbital complex, orbits and nose.

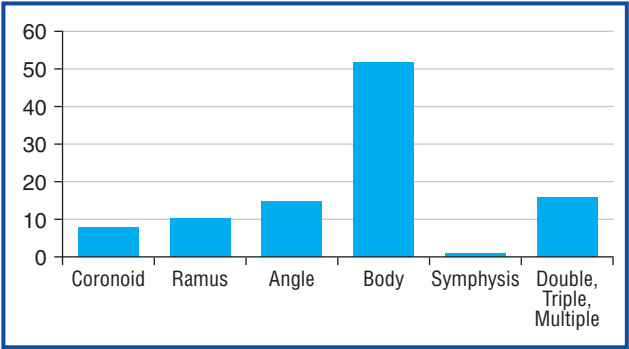


Figure 1. Distribution of mandibular fractures according to anatomical location

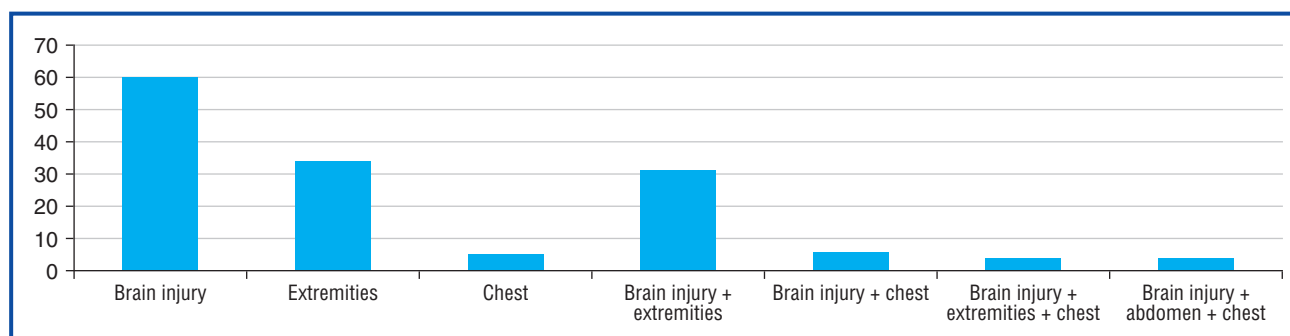


Figure 2. Concomitant damage to organs and systems in patients with maxillofacial injuries

In 158 (73.5 %) of the injured, concomitant injuries to other organs and systems occurred, among which neurosurgical lesions and injuries to the extremities prevailed (Fig. 2).

In 15 (6.9 %) of the cases the maxillofacial injuries were combined with burns of the face or of the extremities.

Discussion

A literature search on the specifics of maxillofacial injuries during active hostilities that took place globally over the past three decades revealed a fairly large number of them.

One of the largest studies was published by Ukrainian researchers who analyzed the medical records of 415 patients in 6 civilian and military hospitals in Kyiv between February 2022 and February 2024 [9]; the demographic indicators of the casualty fully correlated with the results of our study. Thus, if the proportion of men and women in our study was 97.6 and 2.4 %, then in the work by Kyiv colleagues — 96.9 and 3.1 %, respectively. The average age of the wounded in our study was 38.2 ± 9.9 years, and in the work of Kyiv researchers — 38.4 ± 10.2 years.

In a retrospective study by Nigerian researchers who analyzed medical records from a military hospital in Yaba, Nigeria, where victims of the Liberian civil war were admitted from 1991 to 1997, all of them were male, and the average age of the injured was 27 years [10]. According to the Israeli National Trauma Registry, which included victims of the Second Lebanon War in the summer of 2006, the average age of patients with maxillofacial injuries was 25.5 ± 5.7 years [11], and in a study by Tunisian researchers who analyzed 56 cases of wartime face and neck injuries during 2010 to 2014, the average age of the injured was 29 years [12]. According to Arab researchers who analyzed the pattern of injuries in the Yemeni civil war, the average age of those injured in the maxillofacial area was 27.5 ± 7.6 years [13]. The average age of victims during military anti-terrorist operations in Turkey during 2015–2016 was also 28.7 years, and all the injured were male [14]. In another study by Arab scientists on maxillofacial injuries among children and adolescents involved in the civil conflict in Yemen, the average age of the injured was 17.3 ± 2.7 years, and the male-to-female ratio was 71 : 1 [15]. The work of Syrian authors who studied the features of maxillofacial injuries among civilians during the war in Syria (2012–2015) indicates that the age of the victims ranged from 16 to 27.5 years, of whom 88 % were men and 12 % were women [16].

Analysis of medical documentation of the Libyan medical hospital in Misrata during 2011 revealed that out of 154

wounded during hostilities, 94.8 % were men, and 5.2 % were women [17].

According to our observations, isolated maxillofacial injuries occurred in 26.5 % of the examined, in publications of other Ukrainian researchers — 18.0 [9] and 16.9 % [18]. American scientists, based on the analysis of 5,227 cases of injuries in the wars in Iraq and Afghanistan during 2002–2019, indicate a share of isolated injuries to the maxillofacial area of 14.2 % [19]. Information from the registry of injured people in Iraq and Afghanistan during 2005–2009, analyzed by other American scientists, indicates isolated injuries to the head and neck in 28.1 % of cases [20], and an analysis of medical documentation from the medical center in Ramstein (Germany), where victims from Iraq and Afghanistan were evacuated, indicates a share of isolated injuries to the head and neck of 21.0 % [21].

Interestingly, the distribution of facial bone fractures by location in our study was almost completely correlated with the statistical information of other Ukrainian researchers. Thus, if in our work the proportion of fractures of the maxilla was 27.4 %, the zygomatic bone — 23.7 %, the mandible — 52.1 %, then in the work of O. Prysiazniuk et al. [9] — 23.1, 29.3 and 56.1 %, respectively.

Explosive injuries of the maxillofacial region (including injuries from fragments of shells, mines, rockets, bombs or drones, construction materials) in our study amounted to 75.3 %, which is fully correlated with the results of studies on victims in the wars in Iraq and Afghanistan — 74.4 [20], 78.0 [22], 84.0 % [23], Libya — 75.3 % [17], but somewhat different from the results obtained by other Ukrainian researchers — 87.2 % [9]. In contrast, in the study of Arabian researchers, the proportion of explosive injuries of the maxillofacial region was only 48.6 % [13], and in the British — 61 % [24].

In our study, 158 (73.5 %) of those wounded in the maxillofacial region had concomitant injuries to other organs and systems, among which injuries to the brain (38.0 %) and limbs (21.5 %) prevailed. The publication of our colleagues from Kyiv notes, that the most common injuries among the victims were combined injuries to the maxillofacial region and limbs (60.8 %), less often — to the maxillofacial region and brain (39.4 %) [9]. American researchers indicate combined injuries to the maxillofacial region and brain in 64.0 % of those wounded in Iraq and Afghanistan during 2004–2010 [25].

According to the Royal Centre for Defence Medicine (Birmingham, UK), where British servicemen who participated in the armed conflicts in Iraq and Afghanistan were

treated, injuries to the maxillofacial area were most often combined with injuries to the upper limb (39 %), lower limb (31 %), less often to the chest (26 %) and brain (24 %) [24].

According to reports from other Ukrainian specialists, head and neck injuries are more often combined with injuries to the upper limb (53.08 %) than with injuries to the lower limb (46.92 %) [26].

According to American military medics, polytrauma (multimorbidity), which often occurs as a result of blast injuries, is one of the significant factors that negatively affects the quality of life of patients and the possibilities of their medical and social rehabilitation [27]. A similar opinion is expressed by other American researchers, focusing on such consequences of blast trauma as comminuted facial fractures, barotrauma-induced sinus ruptures, thermal and chemical burns [28].

In general, most analytical publications focus on blast trauma as the main cause of severe injuries to the face and neck [20, 22, 24, 29–32].

Conclusions

The conducted study supplements the existing literature information regarding the features of maxillofacial injuries during military operations and is consistent with the data of other similar statistical studies conducted both in Ukraine and in countries of near and far abroad. Blast trauma from various types of weapons is the main cause of maxillofacial injuries, the share of which in the overall structure of traumatic injuries of wartime is consistently high. The presence of 73.5 % of those wounded in the maxillofacial area of combined injuries of other organs and systems, in particular the brain, indicates the need for a multidisciplinary approach to the diagnosis and treatment of this category of casualties.

References

1. Palyvoda R, Kaniura O, Vares Y, Fedirko I, Uhryn M, Chepurnyi Y, et al. Maxillofacial surgery in Ukraine during a war: Challenges and perspectives — a national survey. *Mil Med.* 2024;189(9–10):1968–1975. doi: 10.1093/milmed/usad465.
2. Epstein A, Lim R, Johannigman J, Fox CJ, Inaba K, Vercruyse GA, et al. Putting medical boots on the ground: Lessons from the war in Ukraine and applications for future conflict with near-peer adversaries. *J Am Coll Surg.* 2023;237(2):364–373. doi: 10.1097/xcs.0000000000000707.
3. Fuzaylov G, Bean C. Logistics of surgical missions during the war in Ukraine: Lessons learned. *Discov Health Syst.* 2023;2:47.
4. Antonyshyn K, Teshima TL, Al-Shaqsi S, Enepekidis D, Higgins K, Levis C, et al. A mobile craniofacial surgery unit: Reconstructing casualties of war in Ukraine. *J Craniofac Surg.* 2025;36:156–161. doi: 10.1097/scs.00000000000010802.
5. Burdeina N, Fedchenko O, Vensyuk A. Modern challenges of military logistics: Analysis of the supply of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of war with Russia. *Soc Dev Sec.* 2025;15(3):83–91. doi: 10.33445/sds.2025.15.3.9.
6. Lawry LL, Janvrin M, Korona-Bailey J, Betancourt C, Maddox J, Apilado KP, et al. Health system organization and logistics of trauma care since the Russian invasion of Ukraine: A qualitative assessment. *Inquiry.* 2025;62. doi: 10.1177/00469580251333327.
7. Hodgetts TJ, Naumann DN, Bowley DM. Transferable military medical lessons from the Russo-Ukraine war. *BMJ Mil Health.* 2023;171(2):e002435. doi: 10.1136/military-2023-002435.
8. In Lviv region, the Superhumans prosthetics and rehabilitation center was opened. *Suspilne Lviv.* 2023 Apr 14. Available from: <https://suspilne.media/lviv/446304-na-lvivsini-vidkrili-centr-protezuвання-ta-reabilitacii-superhumans-so-vidomo/> (in Ukrainian).
9. Prysiashniuk O, Palyvoda R, Chepurnyi Y, Pavlychuk T, Chernogorskyi D, Fedirko I, et al. War-related maxillofacial injuries in Ukraine: A retrospective multicenter study. *Arch Craniofac Surg.* 2025;26(2):51–58. doi: 10.7181/acfs.2024.0074.
10. Adebayo ET, Iyogun CA. Maxillofacial injuries sustained during military peace keeping mission in Liberia: The Nigerian experience (1990–1997). *Niger J Dent Res.* 2020;5(2):118–122.
11. Levin L, Zadik Y, Peleg K, Bigman G, Givon A, Lin S. Incidence and severity of maxillofacial injuries during the second Lebanon war among Israeli soldiers and civilians. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(8):1630–1633. doi: 10.1016/j.joms.2007.11.028.
12. Mardassi A, Turki S, Mbarek H, Hachicha A, Chebbi G, Benzarti S, Abouda M. Management of combat-related facial injuries. *Tunis Med.* 2016;94(12):856.
13. Daniels JS, Albakry I, Braimah RO, Samara MI, Albala-si RA, Al-Rayshan SMA. Management of maxillofacial gunshot injuries with emphasis on damage control surgery during the Yemen civil war: Review of 173 victims from a level 1 trauma hospital in Najran, Kingdom of Saudi Arabia. *Craniofac Trauma Reconstr.* 2022;15(1):58–65. doi: 10.1177/19433875211012211.
14. Aşık MB, Akay S, Eksert S. Analyses of combat-related injuries to the maxillofacial and cervical regions and experiences in an operational field hospital. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2018;24:56–60. doi: 10.5505/tjtes.2017.75333.
15. Daniels JS, Albakry I, Braimah RO, Samara MI, Albala-si RA, Begum F. Management of maxillofacial injuries among child and adolescent victims during Yemeni civil conflict: Experience from a tertiary referral center in Najran, southwestern Saudi Arabia. *Eur J Oral Maxillofac Surg.* 2021;5(1):16–22. doi: 10.23736/s2532-3466.20.00229-5.
16. Bahouth H, Ghantous Y, Rachmiel A, Amodi O, Abu-Elnaaj I. Maxillofacial injuries related to the Syrian war in the civilian population. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(5):995–1103. doi: 10.1016/j.joms.2017.01.007.
17. Zaggut AW, Rahman MM, Youssef G, Holmes S, Ellamushi H, Shibu M, et al. Craniofacial war injuries in Misrata, Libya. *J Dent Open Access.* 2020;2(2):1–4. doi: 10.31487/j.jdoa.2020.02.05.
18. Denysiuk MV, Dubrov SO, Poniatovska HB, Lianskorunskyi VM. Analysis of the structure and features of traumatic injuries in victims with combat trauma. *Med Perspektivi.* 2025;30(2):156–163. doi: 10.26641/2307-0404.2025.2.333655.
19. D'Souza EW, MacGregor AJ, Dougherty AL, Olson AS, Champion HR, Galarneau MR. Combat injury profiles among US military personnel who survived serious wounds in Iraq and Afghanistan: A latent class analysis. *PLoS One.* 2022;17(4):e0266588. doi: 10.1371/journal.pone.0266588.
20. Belmont PJ, McCriscin BJ, Sieg RN, Burks R, Schoenfeld AJ. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;73(1):3–12. doi: 10.1097/ta.0b013e318250bfb4.
21. Xydakis MS, Frawell MD, Nasser KF, Casler JD. Analysis of battlefield head and neck injuries in Iraq and Afghanistan.

Otolaryngol Head Neck Surg. 2005;133(4):497-504. doi: 10.1016/j.otohns.2005.07.003.

22. Owens BD, Kragh JF, Wenke JC, Macaitis J, Wade CE, Holcomb JB. Combat wounds in operation Iraqi Freedom and operation Enduring Freedom. *J Trauma*. 2008;64(2):295-299. doi: 10.1097/ta.0b013e318163b875.

23. Lew TA, Walker JA, Wenke JC, Blackburne LH, Hale RG. Characterization of craniomaxillofacial battle injuries sustained by United States service members in the current conflicts of Iraq and Afghanistan. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010;68(1):3-7.

24. Breeze J, Gibbons AJ, Opie NJ, Monaghan A. Maxillofacial injuries in military personnel treated at the Royal Centre for Defence Medicine June 2001 to December 2007. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2010;48(8):613-616.

25. Keller MW, Han PP, Galarneau MR, Gaball CW. Characteristics of maxillofacial injuries and safety of in-theater facial fracture repair in severe combat trauma. *Mil Med*. 2015;180(3):315-320. doi: 10.7205/milmed-d-14-00345.

26. Guryev CO, Kushnir VA, Lisun DM, Panasenka SI, Solovyov OS. Modern combat injuries of the extremities. The first report: Clinical and anatomical structure and structure of injury combinations. *Ukr J Clin Surg*. 2023;90(4):31-35.

27. MacGregor AJ, Zouris JM, Watrous JW, McCabe CT, Dougherty AL, Galarneau MR, Fraser JJ. Multimorbidity and quality of life after blast-related injury among US military personnel: A cluster

analysis of retrospective data. *BMC Public Health*. 2020;20(1):578. doi: 10.1186/s12889-020-08696-4.

28. Grillo R, Bottura L, Lima BC, Kalline de Oliveira N, Melhem-Elias F, Deboni MC. The complex dynamics of maxillofacial trauma in blast and fragmentation injuries: Current understanding and gaps in scientific evidence. *J Cranio-Maxillofac Surg*. 2025;53(10):1762-1768. doi: 10.1016/j.jcms.2025.07.017.

29. Wade AL, Dye JL, Mohrle CR, Galarneau MR. Head, face, and neck injuries during Operation Iraqi Freedom II: Results from the US Navy-Marine Corps Combat Trauma Registry. *J Trauma*. 2007;63(4):836-840. doi: 10.1097/01.ta.0000251453.54663.66.

30. Rustemeyer J, Kranz V, Bremerich A. Injuries in combat from 1982–2005 with particular reference to those to the head and neck: A review. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2007;45(7):556-560. doi: 10.1016/j.bjoms.2007.01.003.

31. Chiniard T, Boutonnet M, Duron S, Bertho K, Travers S, Pasquier P. Profile of injuries in recent warfare. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023;95(2):S79-S87. doi: 10.1097/ta.0000000000004034.

32. Abdullahi MAH, Bala M, Rasheed SA, Ahmed MA, Modibbo MA, Shehu IM. Improvised explosive device injuries to the maxillofacial region: Diagnostic findings and treatment approaches in north-eastern Nigeria. *South Sudan Med J*. 2024;17(4):179-184. doi: 10.4314/ssmj.v17i4.5.

Received 11.05.2026

Revised 11.06.2026

Accepted 20.06.2026

Information about authors

Anastasiia Goldak, Senior Laboratory Assistant, Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: a.holdak@superhumans.com; Maxillofacial Surgeon, Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0006-2496-8149>

Yurii Pasternak, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: pasternak4548@gmail.com; Maxillofacial Surgeon, Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-2907-7135>

Yuliia Medvid, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: yumedvid@gmail.com; Maxillofacial Surgeon, Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0003-8158-9397>

Nataliia Lozynska, PhD-student, Department of General Surgery, Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: dr.nathalie.shvets@gmail.com; Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0008-3998-1674>

Yarema Vares, PhD-student, Department of Operative Surgery with Topographic Anatomy, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: varesyarema@gmail.com; Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0008-3582-0857>

Yan Vares, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine; e-mail: vares-dent@ukr.net; Maxillofacial Surgeon, Superhumans Center (Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans"), Lviv — Vynnyky, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-1779-1107>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. This research received no external funding.

Ethical norms. Institutional Review Board Statement: the study was approved by the Ethics Committee of the Medical center of the Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans" (protocol No. 8 of December 16, 2025).

Informed consent. Not applicable.

Data availability. Data are contained within the article.

Approval for publication. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgments. The authors would like to express gratitude to the Charitable Organization "Charitable Fund "Superhumans" for its support.

Authors' contribution. Ya.E. Vares — conceptualization, validation, formal analysis, review and editing, supervision, project administration; Yu.O. Medvid — methodology, formal analysis, resources, supervision; Yu.B. Pasternak — methodology, investigation, resources; A.R. Goldak — investigation, data curation; Ya.Ya. Vares — investigation, data curation, original draft preparation, review and editing, visualization; N. Lozynska — investigation.

Голдак А.Р.^{1,2}, Пастернак Ю.Б.^{1,2}, Медвідь Ю.О.^{1,2}, Лозинська Н.^{1,2}, Варес Я.Я.^{1,2}, Варес Я.Е.^{1,2}

¹ ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», м. Львів, Україна

² Superhumans Center (Благодійна організація "Благодійний фонд "Суперлюди"), м. Львів — м. Винники, Україна

Структура бойових травматичних ушкоджень щелепно-лицьової ділянки в Україні: ретроспективне одноцентрове дослідження

Резюме. Актуальність. Повномасштабне російське вторгнення в Україну, яке розпочалося в лютому 2022 року, супроводжувалося значними гуманітарними й медичними викликами, пов'язаними з великою кількістю постраждалих серед цивільного населення і військових, а також недостатнім досвідом українських клініцистів у діагностиці та лікуванні

вогнепальних і вибухових поранень. Поряд зі швидкою адаптацією цивільних та військових медичних закладів до нових умов роботи й залученням великої кількості міжнародних медичних місій одним із ключових пріоритетів української системи охорони здоров'я стало створення центрів передового досвіду в галузі бойової травми, наприклад фонду Superhu-

mans. **Мета:** проаналізувати поширеність і характер щелепно-лицьових ушкоджень у пацієнтів, які отримували медичну допомогу в Центрі пластичної та реконструктивної хірургії Superhumans. **Матеріали та методи.** Проведено ретроспективне одноцентрове дослідження, у якому оцінювали демографічні показники, етіологію і локалізацію бойових травм щелепно-лицьової ділянки та їх поєднання з травмами інших органів і тканин. Отримані дані порівнювали з результатами аналогічних досліджень, проведених в Україні та зарубіжних країнах, які пережили військові конфлікти протягом останніх 20 років. **Результати.** Серед 215 проаналізованих пацієнтів чоловіків було 97,6 %. Співвідношення військовослужбовців та цивільних — 29,7 : 1. Понад 75,0 % постраждалих були молодшими за 44 роки. Вибухові поранення щелепно-лицьової ділянки становили 75,3 % усіх випадків, а вогнепальні —

24,7 %. Найчастіше (52,1 %) виявляли ушкодження нижньої щелепи або навколишніх м'яких тканин; рідше траплялися травми верхньої щелепи (27,4 %) та вилице-орбітального комплексу (23,7 %). У 73,5 % осіб присутні поєднані ушкодження, найчастіше — травми кінцівок і нейротравми.

Висновки. Вибухові травми, зумовлені дією різних типів боеприпасів, є основною причиною щелепно-лицьових ушкоджень, а частка останніх у загальній структурі травматичних ушкоджень залишається стабільно високою. Той факт, що 73,5 % постраждалих із щелепно-лицьовими пораненнями мають супутні травми, зокрема головного мозку, свідчить про нагальну потребу в міждисциплінарному підході до діагностики й лікування зазначеної категорії хворих.

Ключові слова: щелепно-лицьові травми; травматичні ушкодження; супутні травми

P. Pruszyńska¹, M. Kozakiewicz^{1*}, T. Wach¹, A. V. Kopchak², T. V. Kustro³¹ Medical University of Lodz, Lodz, Poland² Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine³ Dobrobut Academy, Kyiv, Ukraine

A two-center evaluation of the effect of classification type on the reported incidence of mandibular condyle fractures

Abstract. Background. Since there is no ideal classification of mandibular condyle fractures, there have been several attempts to make this issue clearer for clinicians as well as facilitating communication. In 2018, new classification including improved arrangement of the reference lines was introduced. The aim of the study is to present a two-center evaluation of the effect of different classification types on the reported incidence of mandibular condyle fractures in a five times larger research sample than previously. **Materials and methods.** Two classification types were validated using a series of 431 cases from Ukrainian and Polish databases. Information was obtained from clinical notes and computed tomography scans of each patient using a standardized data collection form, then statistical analysis was performed. **Results.** It was noted that the difference between classifications result varied more in Ukraine than in Poland ($p < 0.01$); thus, Ukrainian data may be more susceptible to AO & SORG & IBRA classification complexities. In Poland, 2018 Kozakiewicz scheme is probably better recognizable, whilst in Ukraine it may significantly improve the representation of mandibular neck fractures in epidemiological descriptions. **Conclusions.** At the moment, both the AO & SORG & IBRA and Kozakiewicz classifications are equally effective, but the meaning of an established diagnosis is slightly different in each of them due to localization of reference lines.

Keywords: mandible condyle; fracture; frequency; epidemiology; classification

Introduction

Taking into account that in 2017, there were an estimated 7.5 million new cases of facial fractures and most of them are concentrated in Europe [1], it seems to be critical for health-care systems to enable adequate access to care and treatment. To provide a reproducible documentation and treatment scheme, it is essential for clinicians to communicate in easy and transparent way. It is becoming increasingly common for medical centers to specialize in separate procedures, so patients with difficult fractures may require treatment at a different center than the one to which they originally presented. Specific nomenclature used by various doctors may accelerate and facilitate their treatment process, which stresses the need for unification of the language used by professionals. During last century, clinicians around the world have been debating about treatment options for mandibular condyle fracture [2–14], as well as about different classifica-

tion proposals [15–20]. However, even though mandibular fractures were initially described as long ago as 1650 BC by Egyptians [21], there still has not been found an ideal way to classify them. It may cause a significant diagnostic and therapeutic problem especially taking into consideration, that basing on 2023 study [22] 45 % of all mandible fractures can be associated with mandibular condyle (54 % of them with condylar base, 16 % with neck, and 34 % with head).

For the time being (Fig. 1), world's most recognizable classifications are based on the Strasbourg Osteosynthesis Research Group [23] and Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) systems [24]. In 2018, new classification including different arrangement of the reference lines was introduced [20].

It is noticeable that clinicians have difficulty especially detecting fractures of the neck of the condyle. According to the horizontal classification lines, a fracture of the base of the

* This author is deceased, but made significant contributions to this work prior to their passing.

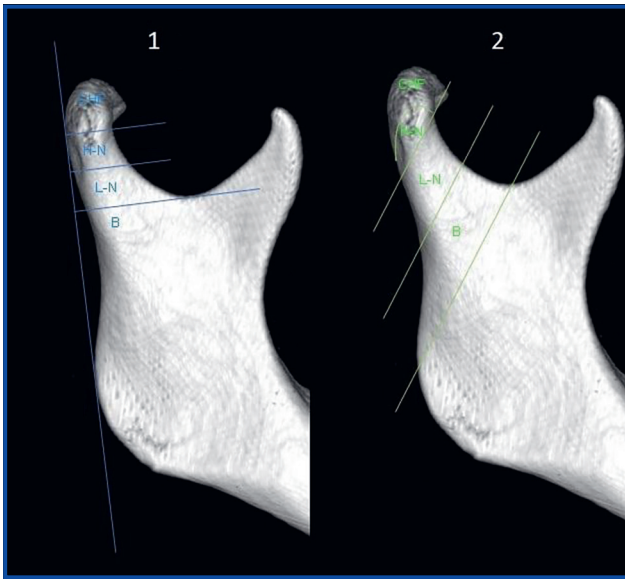


Figure 1. Comparison of definition of two classifications of fractures in mandible condylar region: 1 — AO-SORG-IBRA classification; there is no determined lower border of basal fracture in this classification; 2 — Kozakiewicz's 2018 classification (the introduction of this classification was dictated by the clinical observation that the course of the fracture line in this region is oblique, rather than horizontal. Thus, oblique guide lines are easier to apply); below the most lower classification line, one can recognize a ramus fracture

Notes: B — region of condylar base fracture, L-N — low-neck condylar fracture, H-N — high-neck condylar fracture.

condyle is observed when 2/3 of the fracture line is located above the classification line. The same fracture may become a low neck fracture according to the oblique classification lines (please note that in this classification, only 1/2 of the fracture line must be above the classification line, Fig. 1, 2).

Taking into consideration clinical differences in classifications, the high prevalence of mandibular condyle fractures and the relevance of its treatment [25, 26], the aim of the study is to present a retrospective two-center evaluation of

the effect of different classification types (dichotomously) on the reported incidence of mandibular condyle fractures on a five times larger sample than in 2018.

Materials and methods

Data were collected retrospectively from 431 patients who were seen at the Department of Oral and Maxillofacial Surgery of two centers — Department of Maxillofacial Surgery of Medical University of Lodz, Poland, and Department of Maxillofacial Surgery and Innovative Dentistry, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine. Information was obtained from clinical notes and computed tomography scans of each patient using a standardized data collection form.

The inclusion criteria were patients who presented the diagnosis of mandibular condyle fracture. The exclusion criteria were patients with mandibular fractures without involving the condyle or lack of entire medical documentation.

Fractures were analyzed in RadiAnt software (www.radiantviewer.com/en/, access date March 23, 2025) according to:

1. Classification System for Condylar Process Fractures by Kozakiewicz;
2. AOCMF Level 3 Classification System for Condylar Process Fractures by Neff et al.

Statistical analysis was performed in Statgraphics Centurion 18 (Statgraphics Technologies Inc., The Plains, VA, USA). A p value of less than 0.05 was considered statistically significant. One-way analysis of variance and independence χ^2 test were done.

Results

A total of 431 patients with mandibular condyle fractures were evaluated — 247 from Polish and 184 from Ukrainian database, which is respectively 57 and 43 % (Fig. 4, Table 1).

Considering compatibility of AOCMF Level 3 Classification System for Condylar Process Fractures by Neff et al. with Classification System for Condylar Process Fractures by Kozakiewicz, it was discovered that 3.36 % of diagnoses were not compatible between both classifications (Fig. 5).

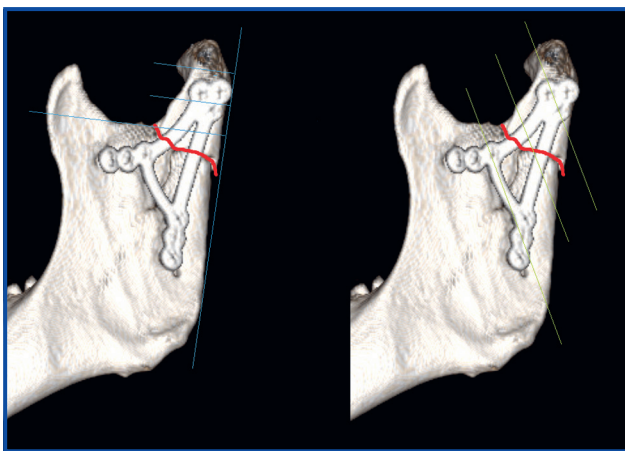


Figure 2. An example illustrating how the same fracture can be classified as a condylar base fracture according to the AO classification and as a low-neck condylar fracture according to the Kozakiewicz's classification

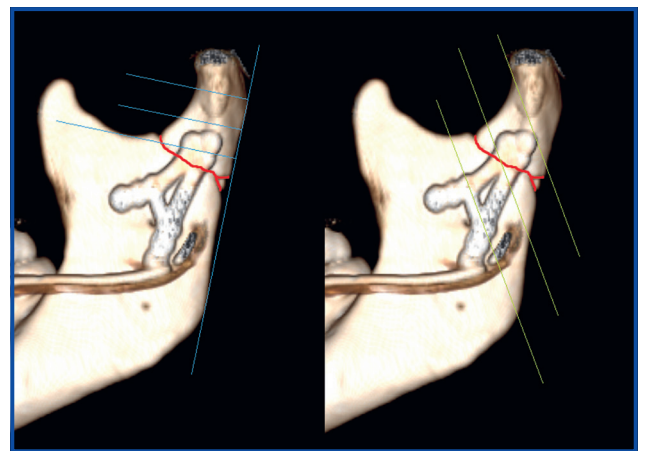


Figure 3. Another example illustrating how the same fracture can be classified as a condylar base fracture according to the AO classification and as a low-neck condylar fracture according to the Kozakiewicz's classification

Table 1. Frequency for condylar fracture by country, n (%)

Area of the condyle	Poland	Ukraine	Total
Head	98 (22.74)	24 (5.57)	122 (28.31)
High neck	17 (3.94)	9 (2.09)	26 (6.03)
Low neck	24 (5.57)	10 (2.32)	34 (7.89)
Basal	108 (25.06)	141 (32.71)	249 (57.77)
Total	247 (57.31)	184 (42.69)	431 (100)

It was noted that the difference between classifications result varied more in Ukraine than in Poland ($\chi^2 = 6.6$, $p < 0.01$), thus, Ukrainian data may be more susceptible to AO & SORG & IBRA classification complexities. In Poland, 2018 Kozakiewicz schema is probably better recognizable, whilst in Ukraine it may significantly improve the representation of mandibular neck fractures in epidemiological descriptions.

The other relevant group of condyle fractures is the one, where there are multiple fractures lines, hence they cannot be simply classified by any classification nowadays. Those are comminuted fractures or avulsive injuries (Fig. 6). Most of them were fractures with shortening of the mandibular ramus.

Discussion

The modern lifestyle, the ability to move around in even faster vehicles, and the relentless level of violence make facial fractures continue to be one of the main concerns of maxillofacial surgeons [27]. The incidence of facial fractures was approximately 10.7 million cases in 2019, which was almost one seventh of bone fractures globally [28]. Hence, there is still a need for classification system of trauma that allow for more effective clinical communication and support for decision making when formulating treatment plans [29, 30].

The problem with applying a specific classification is not unique to maxillofacial surgery, but occurs in many fields of medicine [31].

The multitude of different systems contributes to a lack of universality. Further difficulties may include high interobserver variability [32, 33] or the complexity of clinical cases.

In 2018 new classification for the mandibular condyle fractures was introduced [20] due to observed surprisingly low number of condyle neck fracture classified. It was assumed that new reference lines would be more suitable since they would mirror the natural clinical fracture lines run (i.e. oblique). During this study, authors wanted to verify that hypothesis on 5 times bigger group (431 versus 84 cases respectively). Considering that more than 36 % of fractures that are hard to classify were “P” fractures (fractures with shortening of the mandibular ramus), one can assume that if it was possible to verify and classify all of the cases, the differences between different classifications could be even higher than it was indicated.

Proper classification of diseases is crucial for several next key reasons. Correct classification ensures that patients receive the most appropriate and effective treatments for their condition. A multiplicity of classifications and misclassifica-

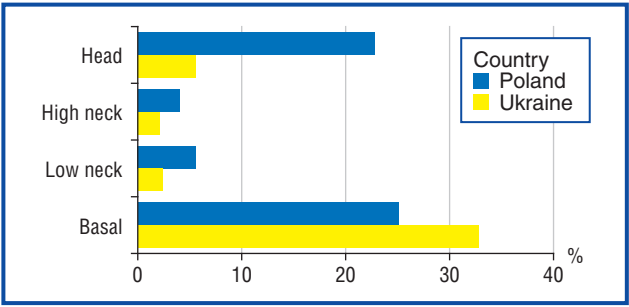


Figure 4. Basic frequency of recorded fractures of mandible condyle (according to Kozakiewicz)

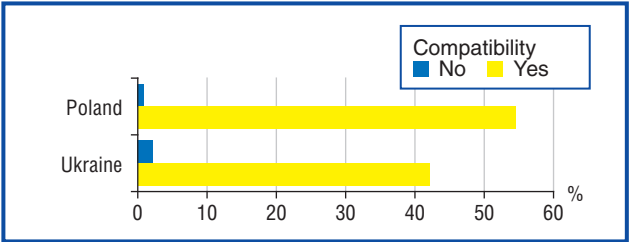


Figure 5. Frequency for country by compatibility of both classifications (1.03 % of Polish cases and 2.33 % of Ukrainian cases were classified as different fractures depending on the classification applied)

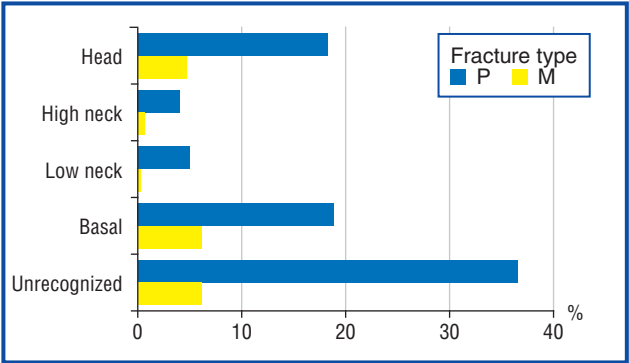


Figure 6. Frequency for condyle fracture frequency by type (according to Kozakiewicz): P — with shortening of the mandibular ramus; M — without shortening of the mandibular ramus. Unrecognized means comminuted fractures or avulsive injury in that anatomical region

tion could lead to the wrong treatment being administered, which may worsen the condition or cause harmful side effects like for example the need of reoperation [34].

Basing on 2023 research [22], among mandibular condylar process fractures, the majority are fractures of the base (54 %), the second most common is a fracture of the mandibular head (34 %), and the rarest is a fracture of the neck (16 %).

Even though 16 % may not seem to be a significant number, there is a clinical need to differentiate between low- and high-neck fractures since both of them should be treated using different materials and methods [35]. Long compression screws [36] or slim profile plates can be successfully applied to high neck fractures, while wider plates should be used during treatment of low neck fractures [37]. Taking into consideration that 3.36 % of condyle fracture diagnoses here were not compatible between both classifications, it can be

assumed that 3.36 % of patients could have been treated in another or maybe more accurate way. This few percent determines that the diagnosis of low-neck fractures disappears (from AOCMF Level 3 Classification System for Condylar Process Fractures) because they are classified as base fractures, and the diagnosis of high-neck fracture disappears because almost all of them are classified as type C mandibular head fractures [20]. In the latter case, probably because both fractures can be fixated with long screws. Then less inquisitive surgeons establish the diagnosis (postoperatively) that all fractures osteosynthesized with long screws are fractures of the mandibular head. They do not take into account the actual course of the fracture line.

Correctly determining the type of fracture is essential for proper treatment. This is especially true for the mandibular neck fractures, where narrow dedicated plates are needed. And in high neck fractures, even non-standard plates or long positioning screws are required [36]. This is due to the nature of this part of the mandible characterized by small dimensions of thin bone. And to make matters even more difficult, there are significant stresses (load bear) during physiological activities such as biting and chewing [36]. So, the osteosynthesis here must be extremely durable and very stable. The second issue here is the anatomical structure of this region. Two clinico-anatomical variants are identified: slender and squat condylar processes [38]. If one diagnoses a patient with a squat condyle, the matter is easy. In fractures in such a patient, the condylar process is wide enough that almost any osteosynthesis plate can be used. However, in patients with a slender-type condyle, the choice of fixing material will be limited considerably. It is better for the patient if the surgeon knows this already at the diagnosis stage, rather than at the fixation stage.

A separate category of specific diagnoses is mandibular head fractures. Many of these remain undiagnosed [22] which most often significantly degrades the stomatognathic system at a later period [39]. Or the correct diagnoses are made with a delay of several weeks, which makes the already difficult osteosynthesis in this region impossible. Such patients end up in the osteotomy treatment group or immediately for total alloplastic temporomandibular joint replacement [26]. These are extensive and higher-risk surgical procedures that could be avoided by making a correct diagnosis in the first day after the injury.

The new classification approach makes it possible to talk about actually existing fracture numbers and helps to solve not only medical but also administrative treatment problems. Governments and health organizations use disease classification and health monitoring to develop public health policies and allocate funding or resources [40]. More accurate classification promotes research and development targeted at specific needs when introducing new tools [41]. It also enables medical centers to be more prepared for treatment by ensuring that the medical workforce is properly targeted — both on the education and supply side. New generation of maxillofacial surgeons should be educated not only how to treat the most common fractures, but also how to operate on the most difficult ones. When it is about supply side — to avoid the financial burden, hospitals should be prepared with proper amount of specific tools (for example specific plates for different fracture types).

Osteosynthesis is a simple (biologically primitive) treatment that has its own disadvantages related to the metals used [42–46]. If one must do it, then one should perform these fixations basing on the appropriate indications. Proper diagnosis will ensure the fulfillment of these indications.

Unquestionably, the limitation of the study is that the presented results are based on only two-center study, whilst diseases need to be classified consistently for global comparisons. This allows for accurate reporting to international organizations, such as the World Health Organization (WHO), and supports global health initiatives [47]. The study was conducted by multiple researchers, which may also increase the possibility of human origin bias.

The advantage of the research is that the sample size has been five times larger than in pilot study in 2018 when new classification was proposed.

Conclusions

The classification used has an impact on the outcome of the diagnosis. The authors estimate that it is not as major as it seemed before this analysis was performed, yet even small improvements in the description of the classification reality help in understanding the problem, developing bonding materials for all types of fractures, and improving patient treatment outcomes by reducing, for example, the number of complications.

For the time being, until further studies are performed on an even larger scale, in more medical centers, it can be assumed that both AO/SORG/IBRA and Kozakiewicz's classifications are equally effective. From the clinical perspective, classification including oblique lines appears to be easier and more appropriate for fractures that are clinically observed in patients. It should also be noted that despite the equal nomenclature of particular diagnoses, the meanings of each term are slightly different in the two classifications.

Sometimes a lot of effort is required to achieve a small (in statistics) but huge (in individual patient's life) improvement.

References

1. Lalloo R, Lucchesi LR, Bisignano C, Castle CD, Dingels ZV, Fox JT, et al. *Epidemiology of facial fractures: Incidence, prevalence and years lived with disability estimates from the Global Burden of Disease 2017 study*. *Inj Prev*. 2020;26(Suppl. S1):i27-i35.
2. Silverman SL. *A new operation for displaced fractures at the neck of the mandibular condyle*. *Dent Cosmos*. 1925;67:876-877.
3. Wassmund M. *Über luxationsfrakturen des kiefergelenkes*. *Dtsch Kieferchir*. 1934;1:27-28.
4. Thoma KH. *Fractures and dislocations of the mandibular condyle: A method for open reduction and internal wiring and one for skeletal fixation, with a report of thirty-two cases*. *J Oral Surg*. 1945;3:3-19.
5. Henny FA. *A technique for open reduction of fractures of the mandibular condyle*. *J Oral Surg*. 1951;9:233-235.
6. Ekholm A. *Fractures of condyloid process of mandible: A clinical, pantomographic, and electromyographic study*. *Proc Finn Dent Sot*. 1961;57:9-13.
7. Korzon T, Kruk J. *Ocena odległych wyników zachowawczego leczenia złamań wyrostka kłykowego żuchwy*. *Czas Stomatol*. 1971;24:157-161.

8. Ellis E, Dean J. Rigid fixation of mandibular condyle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;76:6-15.
9. He D, Yang C, Chen M, Bin J, Zhang X, Qiu Y. Modified pre-auricular approach and rigid internal fixation for intracapsular condyle fracture of the mandible. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68:1578-1584.
10. Korzon T. Nowy sposób chirurgicznego leczenia złamań wyrostka krętkowego żuchwy. *Pol Tyg Lek.* 1970;25:1391-1394.
11. Kolk A, Scheunemann LM, Grill F, Stimmer H, Wolff KD, Neff A. Prognostic factors for long-term results after condylar head fractures: A comparative study of non-surgical treatment versus open reduction and osteosynthesis. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020;48:1138-1145.
12. Sikora M, Chęciński M, Chlubek D. Retro-Auricular Approach to the Fractures of the Mandibular Condyle: A Systematic Review. *J Clin Med.* 2021;10:230.
13. Hlawitschka M, Eckelt U. Assessment of patients treated for intracapsular fractures of the mandibular condyle by closed techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002;60:784-791.
14. Fernandez JA, Mathog RH. Open treatment of condylar fractures with biphasic technique. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1987;113:262-266.
15. Lindahl L. Condylar fractures of the mandible. *Int J Oral Surg.* 1977;6:12-21.
16. Loukota RA, Neff A, Rasse M. Nomenclature/classification of fractures of the mandibular condylar head. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2010;48:477-478.
17. Neff A, Mühlberger G, Karoglan M, Kolk A, Mittelmeier W, Scheruhn D, et al. Stabilität der Osteosynthese bei Gelenkwalzenfrakturen in Klinik und biomechanischer Simulation. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2004;8:63-74.
18. He D, Yang C, Chen M, Jiang B, Wang B. Intracapsular condylar fracture of the mandible: Our classification and open treatment experience. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:1672-1679.
19. Korzon T, Chabin M. Zagadnienie klasyfikacji złamań szczęki. *Czas Stomatol.* 1966;19:319-325.
20. Kozakiewicz M. Classification proposal for fractures of the processus condylaris mandibulae. *Clin Oral Investig.* 2019;23:485-491.
21. El-Anwar MW. Changing Trends in the Treatment of Mandibular Fracture. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2018;22:195-196.
22. Kozakiewicz M, Walczyk A. Current Frequency of Mandibular Condylar Process Fractures. *J Clin Med.* 2023;12:1394.
23. Loukota RA, Eckelt U, De Bont L, Rasse M. Subclassification of fractures of the condylar process of the mandible. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2005;43:72-73.
24. Neff A, Cornelius CP, Rasse M, Torre DD, Audigé L. The comprehensive AOCMF classification system: condylar process fractures — level 3 tutorial. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2014;7:S44-S58.
25. Kozakiewicz M, Pruszyńska P. Lateral Pterygoid Muscle Alteration in Patients Treated Surgically Due to Mandibular Head Fractures. *J Clin Med.* 2023;12:4789.
26. Pruszyńska P, Kozakiewicz M, Szymor P, Wach T. Personalized Temporomandibular Joint Total Alloplastic Replacement as a Solution to Help Patients with Non-Osteosynthesizable Comminuted Mandibular Head Fractures. *J Clin Med.* 2024;13:5257.
27. Bień M, Drogoszewska B, Polcyn A, Michcik A, Garbacewicz Ł. A Comparison of the Specific Facial Trauma Cases at the Department of Maxillofacial Surgery, Gdansk, Poland, from March 2019 to August 2023. *J Clin Med.* 2024;13:3095. doi: 10.3390/jcm13113095.
28. Zachariades N, Papavasiliou D, Papademetriou I, Koundouris I, Rapidis A. Neglected fractures of the facial bones. *J Maxillofac Surg.* 1984;12(1):36-40.
29. Mittermiller P, Bidwell S, Thieringer F, Cornelius C, Trickey A, Kontio R, Girod S. The Comprehensive AO CMF Classification System for Mandibular Fractures: A Multicenter Validation Study. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction.* 2019;12:30-39. doi: 10.1055/s-0038-1677459.
30. Franke A, Matschke JB, Sembdner P, Seidler A, McLeod NMH, Leonhardt H. Long-term outcomes of open treatment of condylar head fractures using cannulated headless bone screws — a retrospective analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2025. doi: 10.1016/j.ijom.2025.01.018.
31. Selçuk E, Erem M, Çopuroğlu C, Özcan M, Çiftedemir M. Comparison of AO, Schatzker, and three-column classification systems in tibial plateau fractures: Impact on functional outcomes. *Jt Dis Relat Surg.* 2024;35(1):112-120. doi: 10.52312/jdrs.2023.1256.
32. Canseco JA, Paziuk T, Schroeder GD, et al. Interobserver Reliability in the Classification of Thoracolumbar Fractures Using the AO Spine TL Injury Classification System Among 22 Clinical Experts in Spine Trauma Care. *Global Spine J.* 2024;14(1 Suppl):17S-24S. doi: 10.1177/21925682231202371.
33. Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J. A Concept for the Validation of Fracture Classifications. *J Orthop Trauma.* 2005;19(6):404-409. doi: 10.1097/01.bot.0000155310.04886.37.
34. Singh H, Graber ML, Hofer TP. Measures to Improve Diagnostic Safety in Clinical Practice. *J Patient Saf.* 2019;15(4):311-316.
35. Kozakiewicz M. *Fractures of the Condylar Process of Mandibula.* 1st ed. Warsaw: PZWL; 2019. 29, 97-115.
36. Kozakiewicz M, Swiniarski J. Treatment of high fracture of the neck of the mandibular condylar process by rigid fixation performed by lag screws: finite element analysis. *Dent Med Probl.* 2017;54:223-228.
37. Cenzi R, Burlini D, Arduin L, Zollino I, Guidi R, Carinci F. Mandibular condyle fractures: evaluation of the Strasbourg Osteosynthesis Research Group classification. *J Craniofac Surg.* 2009;20:24-28.
38. Bielecki-Kowalski B, Kozakiewicz M. Clinico-anatomical classification of the processus condylaris mandibulae for traumatological purposes. *Ann Anat.* 2021;234:151616.
39. Chęciński M, Chęcińska K, Bliźniak F, Lubecka K, Turosz N, Rapalska I, et al. Temporomandibular Joint (TMJ) Replacement Affects Quality of Life: A Systematic Review and Synthesis of Clinical Trials. *Appl Sci.* 2024;14:2912. doi: 10.3390/app14072912.
40. Jakubowski E, Kluge H, Rechel B. Organization and financing of public health services in Europe. Copenhagen: European Observatory on Health Systems and Policies; 2018. Health Policy Series, No. 50. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535720/>.
41. Okulski J, Kozakiewicz M, Krasowski M, Zieliński R, Szymor P. Optimal Plate Choice for High-Neck Mandibular Condyle Fracture: A Mechanistic Analysis of 16 Options. *J Clin Med.* 2024;13:905.
42. Antonowicz B, Maciejczyk M, Borys J, Łukaszuk K, Zięba S, Gołaś E, et al. The Pattern of Cytokines, Chemokines, and Growth Factors of the Maxillary and Mandibular Periosteum After Exposure to Titanium Fixations — Ti6Al4V. *J Clin Med.* 2024;13:7064. doi: 10.3390/jcm13237064.
43. Borys J, Maciejczyk M, Antonowicz B, Krętowski A, Sidun J, Domel E, et al. Glutathione Metabolism, Mitochondria Activity, and Nitrosative Stress in Patients Treated for Mandible Fractures. *J Clin Med.* 2019;8:127. doi: 10.3390/jcm8010127.

44. Borys J, Maciejczyk M, Antonowicz B, Sidun J, Świdarska M, Zalewska A. Free Radical Production, Inflammation and Apoptosis in Patients Treated With Titanium Mandibular Fixations — An Observational Study. *Front Immunol.* 2019;10:2662. doi: 10.3389/fimmu.2019.02662.

45. Wozniak L, Ratajczak-Wrona W, Borys J, Antonowicz B, Nowak K, Bortnik P, Jablonska E. Levels of Biological Markers of Nitric Oxide in Serum of Patients with Mandible Fractures. *J Clin Med.* 2021;10:2832.

46. Zalewska A, Antonowicz B, Szulimowska J, Zieniewska-Siemieńczuk I, Leśniewska B, Borys J, et al. Mitochondrial Redox Balance of Fibroblasts Exposed to Ti-6Al-4V Microplates Subjected to Different Types of Anodizing. *Int J Mol. Sci.* 2023;24:12896.

47. Ruger JP, Yach D. The Global Role of the World Health Organization. *Glob. Health Gov.* 2009;2:1-11.

Received 12.05.2026

Revised 11.06.2026

Accepted 20.06.2026 ■

Information about authors

Paulina Pruszyńska, Dentist, Researcher, Department of Maxillofacial Surgery, Medical University of Lodz, Lodz, Poland; e-mail: paulina.pruszyńska@umed.lodz.pl, pp.dentysta@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-9040-1428>

Marcin Kozakiewicz^{*}, Professor, Head of the Department of Maxillofacial Surgery, Medical University of Lodz, Lodz, Poland; <https://orcid.org/0000-0001-9200-2828>

Tomasz Wach, PhD, DDS, Fellow, Department of Maxillofacial Surgery, Medical University of Lodz, Lodz, Poland; e-mail: tomasz.wach@umed.lodz.pl; <https://orcid.org/0000-0003-4763-8354>

Andrii Kopchak, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Maxillofacial Surgery, Director of the Institute of Dentistry, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kopchak@ua.fm; <https://orcid.org/0000-0002-3272-4658>

Tetiana Kustro, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Head and Neck Medicine, Medical School, Dobrobut Academy, Kyiv, Ukraine; e-mail: tetiana.kustro@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5583-0843>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. This research was funded by Medical University of Lodz, grant number 503/1-138-01/503-51-001-19-00.

Ethical approval. The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Ethics Committee of the Medical University of Lodz, Poland (protocol No. RNN 227/19/KE and date of approval: 9 April 2019).

Informed consent. Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Authors' contribution. P. Pruszyńska, T. Wach — formal analysis, investigation, data curation, original draft preparation, review and editing; M. Kozakiewicz — conceptualization, methodology, software, validation, resources, review and editing, visualization, supervision, project administration, funding acquisition; A. Kopchak — methodology, software, validation, resources, review and editing, supervision, project administration, funding acquisition; T. Kustro — formal analysis, investigation.

Pruszyńska P.¹, Kozakiewicz M.^{1*}, Wach T.¹, Копчак А.В.², Кустрьо Т.В.³

¹ Medical University of Lodz, Lodz, Poland

² Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

³ Академія Добробут, м. Київ, Україна

Двоцентрова оцінка впливу типу класифікації на частоту переломів виростка нижньої щелепи

Резюме. Актуальність. Оскільки ідеальної класифікації переломів виростка нижньої щелепи не існує, було здійснено кілька спроб зробити це питання зрозумілішим для клініцистів, а також полегшити комунікацію між ними. У 2018 році запроваджено нову класифікацію з удосконаленим розташуванням референтних ліній. **Мета:** представити двоцентрову оцінку впливу різних типів класифікації на зареєстровану частоту переломів виростка нижньої щелепи у вибірці, яка в п'ять разів більша, ніж у попередньому дослідженні. **Матеріали та методи.** Два типи класифікації було валідовано у серії з 431 випадку з українських та польських баз даних. Інформацію отримували з клінічних записів і комп'ютерних томографій кожного пацієнта за допомогою стандартизованої форми збору даних, після чого проводили

статистичний аналіз. **Результати.** Установлено, що різниця в результатах класифікацій була більш вираженою в Україні, ніж у Польщі ($p < 0,01$); отже, українські дані можуть бути більш чутливими до складнощів класифікацій АО, SORG та IBRA. У Польщі схема Kozakiewicz 2018 року, ймовірно, є більш впізнаваною, тоді як в Україні її застосування може суттєво поліпшити представлення переломів шийки виростка нижньої щелепи в епідеміологічних описах. **Висновки.** На сьогодні класифікації АО, SORG, IBRA та Kozakiewicz є однаково ефективними, але значення встановленого діагнозу дещо відрізняється в кожній з них через різне розташування референтних ліній.

Ключові слова: виросток нижньої щелепи; перелом; частота; епідеміологія; класифікація

* Цей автор помер, але зробив значний внесок у цю роботу до своєї смерті.

Аветіков Г.Д., Іваницька О.С., Карасюнок А.Є., Гаврильєв В.М., Скікевич М.Г., Локес К.П.
Полтавський державний медичний університет, м. Полтава, Україна

Вплив методики видалення нижнього третього моляра на стан післяекстракційної рани

Резюме. Актуальність. Сучасні тенденції розвитку хірургічної стоматології спрямовані на мінімізацію операційної травми, скорочення тривалості втручання, зниження ризику ушкодження судин і нервів для оптимізації процесів репаративної регенерації післяопераційної рани та профілактики ускладнень при проведенні операції видалення мезіально нахилених нижніх третіх молярів. **Мета:** проаналізувати вплив використання протоколу, доповненого хірургічною методикою, що базувалася на біомеханічно обґрунтованому положенні інструментів і раціональному формуванні операційного доступу, на клінічні ознаки загоєння лунки видаленого нижнього третього моляра. **Матеріали та методи.** Проведений аналіз стану лунки видаленого зуба в пацієнтів з мезіально нахиленими нижніми третіми молярами, видалення яких проведено за стандартною та авторською методиками. **Результати.** На 1-шу добу післяопераційного періоду середній показник стану післяекстракційної рани в пацієнтів 2-ї (основної) клінічної групи був статистично значуще вдвічі меншим, ніж у представників 1-ї (контрольної) групи. На 2-гу добу післяопераційного періоду істотних змін даного показника не відзначали, зберігалася статистично значуща різниця. Середній показник в обох групах збільшувався на 5-ту добу спостереження, проте ці зміни не були статистично значущими. На 7-му добу також зафіксовано незначне збільшення зазначеного показника, що відповідало даним попередніх термінів спостереження. На 30-ту добу зафіксоване істотне вірогідне зменшення цього показника в обох групах з досягненням сталих значень на 60-ту добу. На даному етапі спостереження не було статистично значущої різниці між показниками основної та контрольної групи. **Висновки.** Застосування протоколу, доповненого хірургічною методикою, що базується на біомеханічно обґрунтованому положенні інструментів і раціональному формуванні операційного доступу при екстракції мезіально нахилених нижніх третіх молярів, приводить до статистично значущого поліпшення стану післяекстракційної рани в ранні терміни репаративної регенерації за відсутності змін на 30-ту добу спостереження.

Ключові слова: нижній третій мolar; ретенція зуба; видалення зуба; післяопераційні ускладнення

Вступ

Атипове видалення імпактних і дистопованих нижніх третіх молярів залишається актуальною медичною і соціальною проблемою, оскільки є на сьогодні одним з найскладніших травматичних оперативних втручань у хірургічній стоматології [1, 2]. Складність даної проблеми обумовлена як топографо-анатомічними, так і функціональними особливостями, на першому місці серед них — локалізація нижнього альвеолярного нерва, наявність контрфорсів нижньої щелепи, щільність зовнішньої ко-

сої лінії, топографо-анатомічний зв'язок між коронкою ретенуваного зуба та дистальною поверхнею нижньої щелепи. Усі вказані особливості сприяють збільшенню часу оперативного втручання і підвищують ризик розвитку ускладнень, яким досить часто важко запобігти [3–5].

Існує багато показань до видалення третього моляра, але найпоширенішими причинами є рецидивуючий перикороніт, ортодонтичні показання, каріозне ураження, у тому числі сусіднього зуба, формування кісти, наявність зуба в щілині перелому тощо [6–8].

На відміну від стандартної операції видалення зуба, атипове видалення мезіально нахилених нижніх третіх молярів відзначається як складністю, так і багатоетапністю, що включає проведення розрізу слизової оболонки, відтинання, підйом слизово-окісного клаптя, остеотомію, сегментацію зуба і його екстракцію. Більшість цих дій пов'язується з надмірним травматичним впливом як на кісткові тканини, так і на оточуючий м'якотканинний компонент, що в післяопераційному періоді візуалізується у вигляді гіперемії та набряку слизової оболонки на тлі інтенсивного болю або болювого синдрому, тризму жувальної мускулатури, що в сукупності безпосередньо впливає на якість життя пацієнтів, особливо в ранньому післяопераційному періоді [9, 10].

Найчастішим локальним ускладненням даного оперативного втручання є альвеоліт (альвеолярний остейт), який зустрічається з частотою від 1 до 2,9 % [11]. Оперативна травма може призвести до пошкодження гілок трійчастого нерва через їх близькість до третього моляра нижньої щелепи та подальшого фізичного пошкодження. Сенсорні порушення можуть бути тимчасовими або постійними і зазвичай описуються як тимчасові, якщо відновлення нормальної чутливості відбувається протягом чотирьох-шести місяців [12]. Перелом нижньої щелепи може статися під час операції або після операції. Частота цього рідкісного ускладнення оцінюється приблизно як 1 на 28 000 операцій [13].

Тому сучасні тенденції розвитку хірургічної стоматології спрямовані на мінімізацію операційної травми, скорочення тривалості втручання, зниження ризику ушкодження судин і нервів для оптимізації процесів репаративної регенерації післяопераційної рани та профілактики ускладнень.

Мета: проаналізувати вплив використання протоколу, доповненого хірургічною методикою, що базувалася на біомеханічно обґрунтованому положенні інструментів і раціональному формуванні операційного доступу, на клінічні ознаки загоєння лунки видаленого нижнього третього моляра.

Матеріали та методи

Дослідження було проведено на базі відділення лікувально-хірургічної стоматології з підрозділом екстреної та невідкладної стоматологічної допомоги КП «Полтавський обласний центр стоматології — стоматологічна клінічна поліклініка» Полтавської обласної ради. Усього в дослідженні брали участь 60 пацієнтів з діагнозом дистонії та ретенції нижнього третього моляра віком від 18 до 35 років. З них 21 пацієнт основної та 19 пацієнтів контрольної групи направлені лікарем-ортодонтом. Гендерні особливості не враховувалися.

Залежно від методики проведення оперативного втручання пацієнтів було розподілено на дві клінічні групи, по 30 осіб у кожній.

Перша група (контрольна) — пацієнти, у яких видалення мезіально нахилених ретендованих нижніх третіх молярів проводилося за стандартним протоколом екстракції.

Друга група (основна) — пацієнти, яким проводилось атипове видалення мезіально нахилених ретендованих нижніх третіх молярів із застосуванням протоколу, доповненого хірургічною методикою, що базувалася на біомеханічно обґрунтованому положенні інструментів і раціональному формуванні операційного доступу.

Критеріями включення в дослідження були наявність ретендованого нижнього третього моляра з мезіальним нахилом та інформована згода на участь у лікуванні й дослідженні. Критерії виключення: наявність некомпенсованих загальносоматичних захворювань; гострі запальні процеси щелепно-лицевої локалізації; незадовільна гігієна порожнини рота та наявність шкідливих звичок, зокрема тютюнопаління; вагітність, лактація, а також небажання брати участь у дослідженні.

Клінічні групи були порівнянні за віком, локалізацією зубів і ступенем складності ретенції, що забезпечувало коректність порівняльного аналізу результатів. Усі дослідження проводилися відповідно до сучасних вимог доказової медицини, з дотриманням принципів біоетики й забезпеченням конфіденційності персональних даних пацієнтів.

Для оцінки стану післяопераційної рани в ділянці лунки видаленого зуба була застосована бальна оцінка: 0 балів — шви збережені, крайовий натяг відсутній; 1 — часткове розходження поодиноких швів з відсутністю ексудату; 2 — часткове розходження поодиноких швів з виділенням геморагічно-серозного ексудату; 3 — повне розходження швів з виділенням геморагічно-серозного ексудату; 4 — часткове розходження поодиноких швів з виділенням гнійного ексудату; 5 — повне розходження швів з виділенням гнійного ексудату.

Оцінка післяекстракційної рани виконувалася на 1-шу, 2-гу, 5-ту, 7-му, 30-ту і 60-ту добу після проведення оперативного втручання.

Результати

Клінічний стан рани після екстракції є значущим параметром, що дає можливість прогнозувати ймовірність виникнення післяопераційних ускладнень після екстракції мезіоангулярних імпактних нижніх зубів мудрості. Основні фактори, що чинять вплив на репарацію післяекстракційної рани: стабілізація згустка, первинна епітелізація країв з поступовим синтезом грануляцій. Дисфункція наведених процесів на ранньому етапі, а саме: втрата або нестабільність згустка, рецесія кістки, утворення дефекту на корені зуба, що оголює ділянку нижче від емалево-цементної межі напряму, вірогідно пов'язана з утворенням місцевих явищ запального характеру і захворювань, симптомів яких є біль, який посилюється на 2-гу — 3-тю добу післяопераційного періоду, часткова або повна дезінтеграція кров'яного згустка з ознаками галітозу. Періодичність виникнення ускладнень зазначеного генезу після проведення операції атипового видалення нижніх третіх молярів найвища.

Уже на 1-шу добу післяопераційного періоду середній показник стану післяекстракційної рани в пацієнтів 2-ї (основної) клінічної групи був статистич-

Таблиця 1. Динаміка стану післяекстракційної рани залежно від методики видалення мезіально нахиленого нижнього третього моляра, бали ($M \pm m$)

Доба	Контрольна група	Основна група
1-ша	1,030 $\pm$ 0,131	0,600 $\pm$ 0,113**
2-га	1,060 $\pm$ 0,158	0,600 $\pm$ 0,132**
5-та	1,130 $\pm$ 0,196	0,70 $\pm$ 0,18**
7-ма	1,2 $\pm$ 0,2	0,730 $\pm$ 0,178**
30-та	0,030 $\pm$ 0,034*	0,100 $\pm$ 0,057*
60-та	0,03 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,05

Примітка: * — $p \leq 0,05$ порівняно з попереднім терміном спостереження; ** — $p \leq 0,05$ порівняно з контрольною групою в аналогічний термін спостереження.

но значуще вдвічі меншим, ніж у представників 1-ї (контрольної) групи, і дорівнював $1,030 \pm 0,131$ бала і $0,600 \pm 0,113$ бала відповідно (табл. 1). Імовірно, це пов'язано з менш травматичним втручанням при видаленні мезіально нахилених нижніх третіх молярів у пацієнтів 2-ї групи з мінімізацією травмування тканин при створенні оперативного доступу, підйомі й мобілізації слизово-окісного клаптя і застосуванням люксаційних рухів інструменту.

На 2-гу добу післяопераційного періоду істотних змін даного показника не відзначали; як і на попередньому етапі, у 2-й групі він був статистично значуще вдвічі меншим порівняно з 1-ю контрольною групою, різниця становила 0,460 бала.

Необхідно відзначити зміни в динаміці, зафіксовані нами на 5-ту добу післяопераційного періоду. Середній показник в обох групах збільшувався на 0,07 і 0,03 бала відповідно і становив у середньому $1,130 \pm 0,196$ бала і $0,70 \pm 0,18$ бала, проте дані зміни не були статистично значущими.

На 7-му добу також зафіксовано незначне збільшення зазначеного показника — в середньому до $1,200 \pm 0,196$ бала і $0,730 \pm 0,178$ бала відповідно, тобто у 2-й групі він виявився вірогідно меншим, що відповідало даним попередніх термінів спостереження.

На 30-ту добу зафіксоване істотне вірогідне зменшення цього показника в обох групах з досягненням сталих значень на 60-ту добу. На даному етапі спостереження не було статистично значущої різниці між показниками основної та контрольної групи.

Обговорення

Один з найважливіших критеріїв, на нашу думку, — це контроль травматичності проведеного втручання, що є запорукою оптимального репаративного процесу в післяекстракційній рані з мінімізацією ймовірності дезінтеграції кров'яного згустка. Водночас важливо підтримувати його «чистоту» в післяопераційному періоді, застосовуючи промивання (іригації) [12].

Результати спостереження за динамікою стану післяекстракційної рани, на нашу думку, є доказом ефективності застосування протоколу з доповненням, що

зумовлює поліпшення як первинної епітелізації рани, так і подальшого утворення грануляцій. Варто відзначити: вже на першу добу післяопераційного періоду у 2-й клінічній групі зазначений показник був майже на 50 % менше, ніж у 1-й групі: $0,60 \pm 0,13$ бала проти $1,030 \pm 0,131$ бала. Цей факт свідчить про збереження клітинного пулу прооостообластів за умов застосування протоколу з доповненням: низький рівень досліджуваного показника в названій групі підтверджує стабільність фібринового згустка, який становить базис вказаних клітин. Схожа клінічна симптоматика мала місце на всіх ранніх термінах спостереження (до 7-ї доби). Також про успішне ремоделювання кісткової тканини свідчать мінімальні значення досліджуваного показника на 30-ту добу в обох клінічних групах, без статистично значущої відмінності при порівнянні між групами.

Необхідність персоналізованого підходу до вибору тактики оперативного втручання підкреслюється даними літератури. При цьому ключове значення надається оцінці взаємного відношення коренів зуба і нижньощелепного каналу, визначенню індивідуального ризику uszkodження нижньоальвеолярного нерва, обґрунтованому використанню конусно-променевої комп'ютерної томографії, а також застосуванню малоінвазивних методик, зокрема коронектомії, особливо в пацієнтів з високим ризиком неврологічних ускладнень [8, 9, 14, 15].

Найбільш виражений клінічний ефект від оптимізації техніки видалення нижнього третього моляра ми спостерігали саме на ранніх етапах репаративної регенерації, що визначаються максимальною інтенсивністю запальної реакції, активацією міграції нейтрофілів і макрофагів, вивільненням прозапальних цитокінів (IL-1 β , IL-6, TNF- α), факторів росту (PDGF, TGF- β , VEGF) і початком ангиогенезу. Саме в цей часовий проміжок відбувається формування грануляційної тканини, організація кров'яного згустка, проліферація фібробластів і мезенхімальних стовбурових клітин, які визначають подальший напрямок остеогенезу [16–18].

Тому зменшення операційної травми, якого ми досягаємо завдяки біомеханічно обґрунтованому використанню інструментів і раціональному формуванню операційного доступу, приводить до зниження продукції прозапальних медіаторів, швидшого переходу від запальної до проліферативної фази репарації, більш ранньої неоваскуляризації та прискорення формування первинної остеїдної тканини [19–21].

Висновки

Застосування протоколу, доповненого хірургічною методикою, що базується на біомеханічно обґрунтованому положенні інструментів і раціональному формуванні операційного доступу при екстракції мезіально нахилених нижніх третіх молярів, приводить до статистично значущого поліпшення стану післяекстракційної рани в ранні терміни репаративної регенерації за відсутності змін на 30-ту добу спостереження.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом комплексної ініціативної теми кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії Полтавського державного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України «Алгоритм комплексного лікування запальних процесів та профілактики утворення патологічних рубців шкіри голови та шиї після планових та ургентних оперативних втручань», номер державної реєстрації 0124U000093, прикладна, термін виконання 2024–2028 рр., керівник — доктор медичних наук, професор Д.С. Аветіков.

Внесок авторів. Аветіков Г.Д. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Іваницька О.С. — аналіз даних, написання тексту; Карасюнок А.Є. — аналіз даних, написання тексту; Гаврильєв В.М. — збір і обробка матеріалів; Скікевич М.Г. — збір і обробка матеріалів; Локес К.П. — збір матеріалів і аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

1. Faustova MO, Ananieva MM, Basarab YO, Dobrobolska OV, Voyk IM, Loban' GA. Bacterial factors of cariogenicity (literature review). *Wiadomosci lekarskie*. 2018;71(2 pt 2):378–382.
2. Sifuentes-Cervantes JS, Carrillo-Morales F, Castro-Núñez J, Cunningham LL, Van Sickels JE. Third molar surgery: Past, present, and the future. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2021 Nov;132(5):523–531. doi: 10.1016/j.oooo.2021.03.004.
3. Puciło M, Puciło A, Safranow K, Nowicka A. The influence of age, sex, and tooth type on the anatomical relationship between tooth roots and the mandibular canal. *Imaging Sci Dent*. 2021 Dec;51(4):373–382. doi: 10.5624/isd.20210031.
4. Safi Y, Moshfeghi M, Ahsaie MG, Zameni M, Sahafi SA. Relationship between Impacted Mandibular Third Molars and the Mandibular Canal on CBCT Scans. *J Long Term Eff Med Implants*. 2024;34(3):65–74. doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2022042569.
5. Yacoub S, Dammak N, Zaalouni S, Hrizi MA, Ben Khelifa M. Prevalence of impacted third molars: a radiographic study among a North African population. *Tunis Med*. 2024 Jan 5;102(1):32–37. doi: 10.62438/tunismed.v102i1.4461.
6. Themkumkwan S, Sawatdeenarunat S, Manosuthi P. Surgical removal of third molars in a young adult: review of indications and surgical techniques. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2023 Aug 31;49(4):184–191. doi: 10.5125/jkaoms.2023.49.4.184.
7. Lokes K, Karasiunok A, Smaglyuk L, Voloshyna L, Voronkova H, Rezvina K. Tooth extraction operation as a component of orthodontical treatment. *Ukrainian Dental Almanac*. 2024;2:32–35. doi: 10.31718/2409-0255.2.2024.06.
8. Mendoza AM, Rodenas YJ, Eidson BK. Improved Wisdom Tooth Diagnosis Can Reduce Dental Disease and Nonbattle Injuries. *Mil Med*. 2023 Nov 3;188(11-12):e3416–e3422. doi: 10.1093/milmed/usad145.
9. Kang FW, Yuan XR, Li GC, Yang YFZ, Zhang XM, Hou GY. Coronectomy in Lower Third Molar Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*. 2025 May;83(5):601–615. doi: 10.1016/j.joms.2025.01.014.
10. Takadoun S, Douilly G, de Boutray M, Kabani S, Maladière E, Demattei C, Lapeyrie P. Sutureless socket technique after removal of third molars: a multicentric, open, randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2022 Jun 26;22(1):256. doi: 10.1186/s12903-022-02287-y.
11. Faustova MO, Chumak YuV, Lokes KP, Loban' GA, Steblovskiy DV, Voloshyna LI, Avetikov DS. Decamethoxine reduces the adhesive properties of streptococci isolated from patients with dry socket. *Kharkiv Dental Journal*. 2025;2(4(6)):594–605. doi: 10.26565/3083-5607-2025-6-06.
12. Picoli FF, Fontenele RC, Van der Cruyssen F, Ahmadzai I, Trigeminal Nerve Injuries Research Group, Politis C, Silva MAG, Jacobs R. Risk assessment of inferior alveolar nerve injury after wisdom tooth removal using 3D AI-driven models: A within-patient study. *J Dent*. 2023 Dec;139:104765. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104765.
13. Kiencało A, Jamka-Kasprzyk M, Panaś M, Wysznińska-Pawelec G. Analysis of complications after the removal of 339 third molars. *Dent Med Probl*. 2021 Jan-Mar;58(1):75–80. doi: 10.17219/dmp/127028.
14. Alhyari R, Boggon JN, Anderson H, McLaughlin BA, Khalaf K, Lalli A. Cone-Beam Computed Tomography in Wisdom Tooth Surgery Can Aid Informed Decision-Making and Reduce Presurgical Anxiety. *J Oral Maxillofac Res*. 2025 Sep 30;16(3):e3. doi: 10.5037/jomr.2025.16303.
15. Leung YY, Hung KF, Li DTS, Yeung AWK. Application of Cone Beam Computed Tomography in Risk Assessment of Lower Third Molar Surgery. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Mar 1;13(5):919. doi: 10.3390/diagnostics13050919.
16. Stefanescu A, Sufaru IG, Chiscop I, Lupu FC, Martu C, Oprisan B, Earar K. Clinical and Molecular Impact of Advanced Platelet-Rich Fibrin on Pain, Swelling, and Distal Periodontal Status of Mandibular Second Molars After Mandibular Third-Molar Extraction. *Medicina (Kaunas)*. 2024 Dec 14;60(12):2062. doi: 10.3390/medicina60122062.
17. Khoswanto C, Dewi IK. The role of rhBMP-2 in mandibular bone regeneration following tooth extraction through HIF-1α and VEGF-A expression: An Immunohistochemical study. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2025 Mar-Apr;15(2):359–364. doi: 10.1016/j.job-cr.2025.02.001.
18. Kong J, Li L, Gao F, Zhang K, Xie J, Cui J. Stromal cell-derived factor-1 regulates expression of vascular endothelial growth factor and osteopontin after tooth extraction. *J Periodontol*. 2025 Dec;96(12):1391–1399. doi: 10.1002/JPER.24-0785.
19. Yin Y, Shuai F, Liu X, Zhao Y, Han X, Zhao H. Biomaterials and therapeutic strategies designed for tooth extraction socket healing. *Biomaterials*. 2025 May;316:122975. doi: 10.1016/j.biomaterials.2024.122975.
20. Diniz JA, Dourado ACAG, Barbirato DDS, da Silveira KG, Vasconcellos RJH, Laureano Filho JR. Effect of simvastatin topical use on alveolar bone after tooth extraction: a scoping review. *Clin Oral Invest*. 2024 Jan 10;28(1):86. doi: 10.1007/s00784-023-05482-5.
21. Park G, Jalkh EB, Boczar D, Bergamo ET, Kim H, Kurgansky G, et al. Bone regeneration at extraction sockets filled with leukocyte-platelet-rich fibrin: An experimental pre-clinical study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2022 Sep 1;27(5):e468–e475. doi: 10.4317/medoral.25462.

Отримано/Received 13.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026

Information about authors

Heorhii D. Avetikov, PhD-student, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: h.avetikov@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-9241-6707>
Olena S. Ivanytska, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: o.ivanytska@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4789-8503>

Anna Ye. Karasiunok, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Orthodontics, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: a.karasiunok@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-0108-6347>

Viktor M. Havryliiev, PhD in Medicine, Assistant, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: v.havryliiev@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-3280-2660>

Margaryta H. Skikevych, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: m.skikevych@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4401-2703>

Kateryna P. Lokes, PhD in Medicine, Associate Professor, Head of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: k.lokes@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8847-837X>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The article is a fragment of the comprehensive initiative topic of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of the Poltava State Medical University of the Ministry of Health of Ukraine "Algorithm for the complex treatment of inflammatory processes and prevention of the formation of pathological scars on the scalp and neck after planned and urgent surgical interventions", state registration number 0124U000093, applied, implementation period 2024–2028, head — Doctor of Medical Sciences, Professor D.S. Avetikov.

Authors' contribution. H.D. Avetikov — collection and processing of materials, writing text; O.S. Ivanytska — data analysis, text writing; A.Ye. Karasiunok — data analysis, text writing; V.M. Havryliiev — collection and processing of materials; M.H. Skikevych — collection and processing of materials; K.P. Lokes — collection of materials and data analysis, concept and design of the article, text editing.

H.D. Avetikov, O.S. Ivanytska, A.Ye. Karasiunok, V.M. Havryliiev, M.H. Skikevych, K.P. Lokes
Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

The impact of mandibular third molar extraction technique on the condition of the post-extraction wound

Abstract. Background. Current trends in the development of surgical dentistry are aimed at minimizing surgical trauma, reducing the duration of the intervention and the risk of vascular and nerve damage in order to optimize the processes of reparative regeneration of the postoperative wound and prevent complications during the operation to remove mesially inclined lower third molars. Purpose was to analyze the effect of using a protocol with the addition of a surgical technique based on a biomechanically justified position of the instruments and rational formation of surgical access on the clinical signs of healing of the socket of the removed lower third molar. **Materials and methods.** An analysis of the state of the socket of the extracted tooth was conducted in patients with mesial inclination of lower third molars, whose removal was performed using standard and authors' methods. **Results.** On the 1st postoperative day, the difference in the average indicators of the state of the post-extraction wound in patients of the 2nd (main) clinical group was statistically significantly half as small as in representatives of the 1st (control) group. On the 2nd day of the postoperative period, no significant

changes in this indicator were noted, and a statistically significant difference remained. The average indicator in both groups increased on the 5th day of observation, but these changes were not statistically significant. On the 7th day, a slight increase in the mentioned parameter was also recorded, which corresponded to the data of the previous observation periods. On the 30th day, a significant and probable decrease in this indicator was recorded in both groups, with stable values reached on the 60th day. At this stage of observation, there was no statistically significant difference between parameters of the main and control groups. **Conclusions.** The use of the protocol with the addition of a surgical technique based on a biomechanically justified position of the instruments and rational formation of the surgical access during the extraction of mesially inclined lower third molars leads to a statistically significant improvement in the condition of the post-extraction wound in the early stages of reparative regeneration with no changes on the 30th day of observation.

Keywords: mandibular third molar; tooth impaction; tooth extraction; postoperative complications

УДК 616.716.1/4-089.844-092.9

DOI: <https://doi.org/10.22141/aomfs.3.1.2026.42>Гринюк О.І.¹, Мирошніченко М.С.²¹ Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна

Застосування багатокомпонентного субстрату для кісткової пластики при усуненні дефектів щелеп: експериментальне дослідження *in vivo*

Резюме. Актуальність. Дефекти кісток щелепно-лицевої ділянки часто потребують використання кістковозамісних матеріалів. Більшість досліджених кістковозамісних матеріалів не мають одночасно остеокондуктивних і остеоіндуктивних властивостей. Також кістковозамісні матеріали мають різний час резорбції-інтеграції, що впливає на загальний час реабілітації пацієнтів. **Мета роботи:** порівняти результати морфологічного дослідження ділянки змодельованого дірчастого дефекту щелепи, що був заповнений різними кістковозамісними матеріалами, з результатами денситометрії кісткового регенерату в ділянках цих дефектів. **Матеріали та методи.** Експеримент *in vivo* виконано на 96 сертифікованих лабораторних щурах-самцях, які були розподілені на 4 групи по 24 щури. Сформовані дірчасті дефекти щелеп заповнювали: кров'яним згустком, кістковозамісним матеріалом «Біомін ГТ» («Рapid», Україна), колагеновою губкою (DSI Dental Solutions Ltd, Ізраїль), полідезоксирибонуклеотидом (BNC Korea, Корея). Тварини піддавались евтаназії на 3-тю, 7-му, 14-ту, 28-му добу по 6 тварин шляхом миттєвої декапітації. Мікропрепарати досліджувалися за допомогою мікроскопа ZEISS Primostar 3 (Carl Zeiss, Німеччина) з вбудованою камерою Ахіосат 208 color. Морфометрія проводилась у програмі Labscope, підраховувалась абсолютна кількість остеобластів та остеоцитів у пластинчастій кістковій тканині, що межує з порожниною дірчастого дефекту. Комп'ютерну томографію регенерату проводили за допомогою конусно-променевого томографа Planmeca ProMax 3D Max (Planmeca Oy, Гельсінкі, Фінляндія). Сканування здійснювали за такими технічними параметрами: напруга — 96 кВ, сила струму — 10–11 мА, розмір поля огляду — від 8 × 8 см до 23 × 26 см залежно від досліджуваної ділянки, товщина зрізу — 0,2–0,4 мм, час експозиції — 12–18 с. Отримані DICOM-зображення оброблялися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Radiant. **Результати.** При заповненні дірчастого дефекту композицією з кістковозамісного матеріалу, колагенової губки та полідезоксирибонуклеотиду на 28-му добу спостереження отримано найбільш якісний кістковий регенерат порівняно з іншими групами, що було підтверджено морфометричним аналізом і денситометрією ділянки регенерату. Морфометрія показала збільшення питомого об'єму остеогенної фіброретикулярної і пластинчастої кісткової тканини, а денситометричне дослідження — збільшення показника рентгенологічної щільності регенерату, виражене в одиницях Хаунсфілда. **Висновки.** За рахунок комплексного впливу полідезоксирибонуклеотиду, кістковозамісного матеріалу та колагенової губки було досягнуто утворення повноцінного кісткового регенерату в короткий термін порівняно з іншими групами. Ефект обумовлено впливом: 1) полідезоксирибонуклеотиду — на зниження синтезу прозапальних агентів, зменшення судинної проникності, підвищення синтезу протизапальних цитокінів, активацію синтезу факторів росту, хемотаксису лімфоцитів, активацію NO-синтетики; 2) кістковозамісного матеріалу — на утворення тривимірної структури майбутнього кісткового регенерату; 3) колагенової губки як скаффолда для полідезоксирибонуклеотиду.

Ключові слова: полідезоксирибонуклеотид; кісткова регенерація; дефект щелеп; синтетичний кістковий трансплантат; гідроксіапатит; β-трикальційфосфат; репаративний остеогенез

© «Архів офтальмології та щелепно-лицевої хірургії України» / «Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine», 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Гринюк Олександр Іванович, аспірант кафедри хірургічної стоматології, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульвар Тараса Шевченка, 13, Київ, 01601, Україна; e-mail: agrunyk@gmail.com

For correspondence: Oleksii Gryniuk, PhD-student, Department of Surgical Dentistry, O.O. Bogomolets National Medical University, 13 Taras Shevchenko Boul., Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: agrunyk@gmail.com

Full list of authors information is available at the end of the article.

Вступ

Переломи та травми кісток лицевого скелета є поширеною проблемою і становлять понад 15 % від загальної кількості травм кісток тіла людини [1, 2]. Повноцінне й ургентне лікування переломів і травм кісток лицевого черепа відновлює не лише здатність людини говорити, дихати, їсти тощо, а й естетичну і соціальну роль обличчя [3].

Репаративна регенерація кістки супроводжується формуванням сполучнотканинного регенерату, що поступово піддається органотиповій перебудові. Для аугментації кісток лицевого черепа золотим стандартом вважається автотрансплантація з інтраоральних або екстраоральних джерел [4]. Також застосовуються додаткові методи: штучні каркаси, трансплантація клітин і використання факторів росту, ксено- та алотрансплантатів, полікапролактону, поліефірефіркетону, поліефіркетонкетону, кераміки, металів, поліметилметакрилату, полігліколевої кислоти і гідрогелів полімолочної кислоти для регенерації кісток [5–7].

Ідеальний біоматеріал повинен поєднувати безпечність, біосумісність і цитосумісність [8]. Проте жоден окремий матеріал навряд чи здатен відповідати всім цим критеріям одночасно. У зв'язку з цим увага дослідників зосереджується на гібридних каркасах, які поєднують переваги різних матеріалів як природного, так і синтетичного походження [9].

Полідезоксирибонуклеотид (ПДРН) — це біологічно активна сполука, яка сприяє регенерації тканин і загоєнню ран за рахунок стимуляції ангиогенезу та прискорення проліферації фібробластів [10]. Результати досліджень *in vitro* та *in vivo* продемонстрували, що ПДРН активує ангиогенез через дію на пуринергічні рецептори A2A, індукує клітинну проліферацію і прискорює процес загоєння ран [11].

Рентгенологічне обстеження є обов'язковим етапом діагностики пацієнтів із травмами обличчя. У більшості випадків, особливо за наявності політравми, пацієнтам з переломами кісток лицевого черепа спочатку виконують комп'ютерну томографію (КТ) для оцінки стану шийного відділу хребта і виключення інших супутніх пошкоджень. Дослідження показали, що спіральна КТ забезпечує 100% чутливість у виявленні переломів нижньої щелепи, тоді як панорамна томографія демонструє нижчий показник — 86 %. Завдяки цьому тривимірна КТ утвердилась як пріоритетний метод діагностики переломів нижньої щелепи [12, 13]. Комп'ютерна томографія дозволяє оцінити структуру і мінеральну насиченість кісткового регенерату за рентгенологічною щільністю навіть на ранніх термінах його формування [14].

Морфометричне дослідження регенерату дозволяє оцінити кількість структурних компонентів відновленої тканини за допомогою мікроскопії та спеціальних вимірювальних програм.

Метою роботи було порівняти результати морфологічного дослідження ділянки змодельованого дірчастого дефекту (ДД) щелепи, що був заповнений різними кістковозамісними матеріалами, з результатами денситометрії кісткового регенерату в ділянках цих дефектів.

Матеріали та методи

Експериментальне дослідження було проведено на 96 сертифікованих лабораторних щурах-самцях популяції WAG віком 6–8 місяців і вагою 160–300 г на базі віварію Національного медичного університету імені О.О. Богомольця.

Під час роботи з лабораторними тваринами керувалися Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006), Положенням про поводження з тваринами в наукових дослідженнях та освітньому процесі в Національному медичному університеті імені О.О. Богомольця із дотриманням етичних норм Директиви № 86/609/ЄЕС. Дослідження було затверджено біоетичним комітетом з питань людини або дослідження тварин у НМУ імені О.О. Богомольця (протокол № 181 від 29.01.2024).

Тварини були рандомно розподілені на 4 дослідні групи по 24 щури. У кожній групі моделювався дірчастий дефект (ДД) у ділянці кута щелепи за допомогою кулястого бора діаметром 3,0 мм прямим наконечником за допомогою фізiodиспенсера з рідинним охолодженням. У групі 1 (контрольна група) в дефект нічого не вносили, забезпечували умови з формуванням кров'яного згустка, проводили ушивання поліамідом № 4.0. У групі 2 дефект заповнювали синтетичним кістковим матеріалом «Біомін ГТ» («Рapid», Україна) з гідроксіпатитом і β -трикальційфосфатом. У групі 3 кістковий дефект заповнювали колагеновою губкою (DSI Dental Solutions Ltd, Ізраїль) з полідезоксирибонуклеотидом (BNC Korea, Корея). Група 4 була особливою з точки зору комбінування попередніх варіацій, тут кістковий дефект заповнювали синтетичним кістковим трансплантатом «Біомін ГТ» («Рapid», Україна) і колагеновою губкою (DSI Dental Solutions Ltd, Ізраїль) з полідезоксирибонуклеотидом (BNC Korea, Корея).

Тварини були виведені з експерименту на 3-тій, 7-му, 14-ту, 28-му добу по 6 тварин шляхом миттєвої декапітації.

Комп'ютерна томографія скелетованих нижніх щелеп щурів була виконана на дентальному конусно-променевому томографі Planmeca ProMax 3D Max (Planmeca, Helsinki, Finland) при напрузі 96 кВ, силі струму 10 мА, розмірі вокселя 0,2 мм. У ділянках кісткового дефекту вимірювали рентгенологічну щільність регенерату, виражену в одиницях Хаунсфілда (HU), у програмі Radiant з такими параметрами:

- 1) Area $\sim 0,0089 \pm 0,0009$ см²;
- 2) MIP $\sim 1,00 \pm 0,05$ мм.

Величину цих параметрів визначали на підставі усереднення результатів вимірів, проведених в різних зрізах відповідно, отримані дані порівнювали з параметрами подібних зон кісткових дефектів контрольної групи.

Дослідні ділянки нижньої щелепи, що були матеріалом для морфологічного дослідження, фіксували в 10% розчині формаліну, декальцинували, фіксували в парафіні. З парафінових блоків робили серійні зрізи товщиною $4\text{--}5 \times 10^{-6}$ м і забарвлювали гематоксиліном та еозином.

Морфологічне дослідження мікропрепаратів було проведено на кафедрі загальної та клінічної патофізіо-

логії імені Д.О. Альперна Харківського національного медичного університету (завідувач кафедри д.м.н., професор М.С. Мирошніченко) мікроскопом ZEISS Primostar 3 (Carl Zeiss, Німеччина) з вбудованою камерою Axioscam 208 color.

Морфометрію проводили за допомогою програми Labscope і визначали такі показники:

- 1) питомий об'єм крові (ПОК) та альтеративно-зміненої тканини (АЗТ), %;
- 2) питомий об'єм грануляційної тканини (ПОГТ), %;
- 3) питомий об'єм сполучної тканини (ПОСТ), %;

4) питомий об'єм остеогенної фіброретикулярної тканини (ПООФТ), %;

5) питомий об'єм пластинчастої кісткової тканини (ПОКТ) з наявністю в міжтрабекулярному просторі сполучної тканини (СТ), %;

6) ПОКТ з наявністю в міжтрабекулярному просторі вогнищ гемопоезу (ВГ), %.

Також під час морфометричного дослідження в полі зору мікроскопа × 400 було проведено підрахунок абсолютної кількості остеобластів та остеоцитів у пластинчастих кістковій тканині, що межує з порожниною ДД.

Таблиця 1. Зміни показника щільності кісткового регенерату в групі 1 (n = 24)

Час виведення з експерименту, доба	Щільність регенерату (HU), $\bar{x} \pm S$	Рівень значущості відмінності, p^*
7-ма	-74,05 $\pm$ 347,99	< 0,001
14-та	19,12 $\pm$ 212,02	
21-ша	82,87 $\pm$ 217,17	
28-ма	286,64 $\pm$ 391,06	

Примітка: тут і в табл. 2–4: при порівнянні використано критерій Фрідмана χ^2 для повторних залежних вимірювань (пов'язана вибірка); post-hoc аналіз за методом Conover (1999).

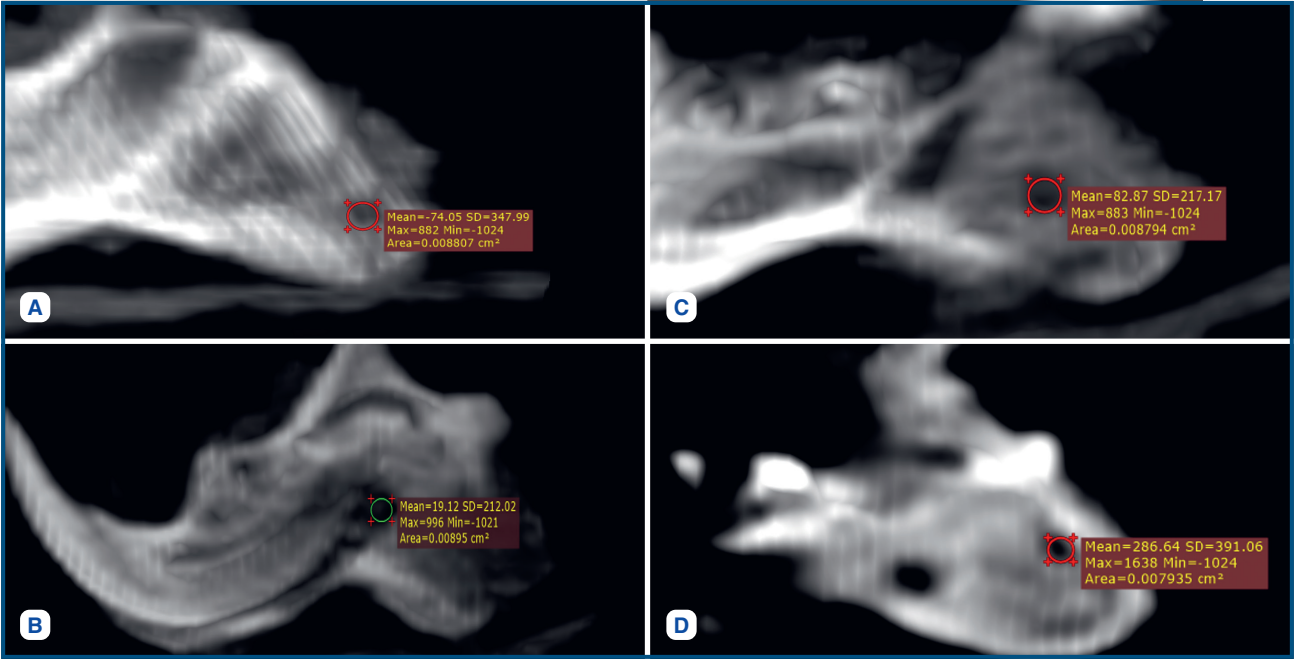


Рисунок 1. Зрізи КТ щурів з визначенням показника щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту в групі 1: А) 7-ма доба; В) 14-та доба; С) 21-ша доба; D) 28-ма доба

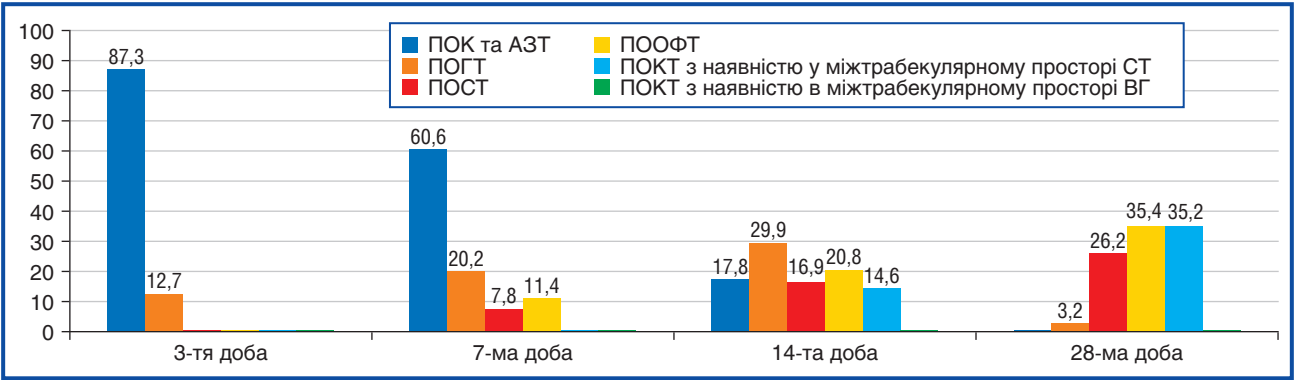


Рисунок 2. Результати морфометричного дослідження регенерату, що заповнював порожнину змодельованого ДД, у щурів групи 1

Отримані дані лабораторних досліджень наводили в міжнародній системі одиниць та обробляли методами варіаційної статистики з використанням пакета MedStat [15] і статистичного пакета EZR v.1.35 (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Japan, 2017) [16], що являє собою графічний інтерфейс до RFSC (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Австрія).

Для аналізу динаміки кількісних показників було використано критерій Фрідмана [16, 17] для пов'язаних вибірок, постеріорні порівняння проводилися за Conover (1999).

Результати

Показники щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту за даними КТ протягом періоду спостереження (7-ма, 14-та, 21-ша, 28-ма доба) в групі 1 (контрольна (інтактна) група), у якій ДД заповнювали кров'яним згустком, подані в табл. 1.

Показники щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту за даними КТ протягом періоду спостереження (7-ма, 14-та, 21-ша, 28-ма доба) в дослідній групі 2, у якій ДД заповнювали синтетичним кістковим трансплантатом «Біомін ГТ» («Рapid»,

Таблиця 2. Зміни показника щільності кісткового регенерату в групі 2 (n = 24)

Час виведення з експерименту, доба	Щільність регенерату (HU), $\bar{x} \pm S$	Рівень значущості відмінності, p
7-ма	80,59 $\pm$ 219,01	< 0,001
14-та	87,42 $\pm$ 150,62	
21-ша	173,17 $\pm$ 274,93	
28-ма	325,33 $\pm$ 276,07	

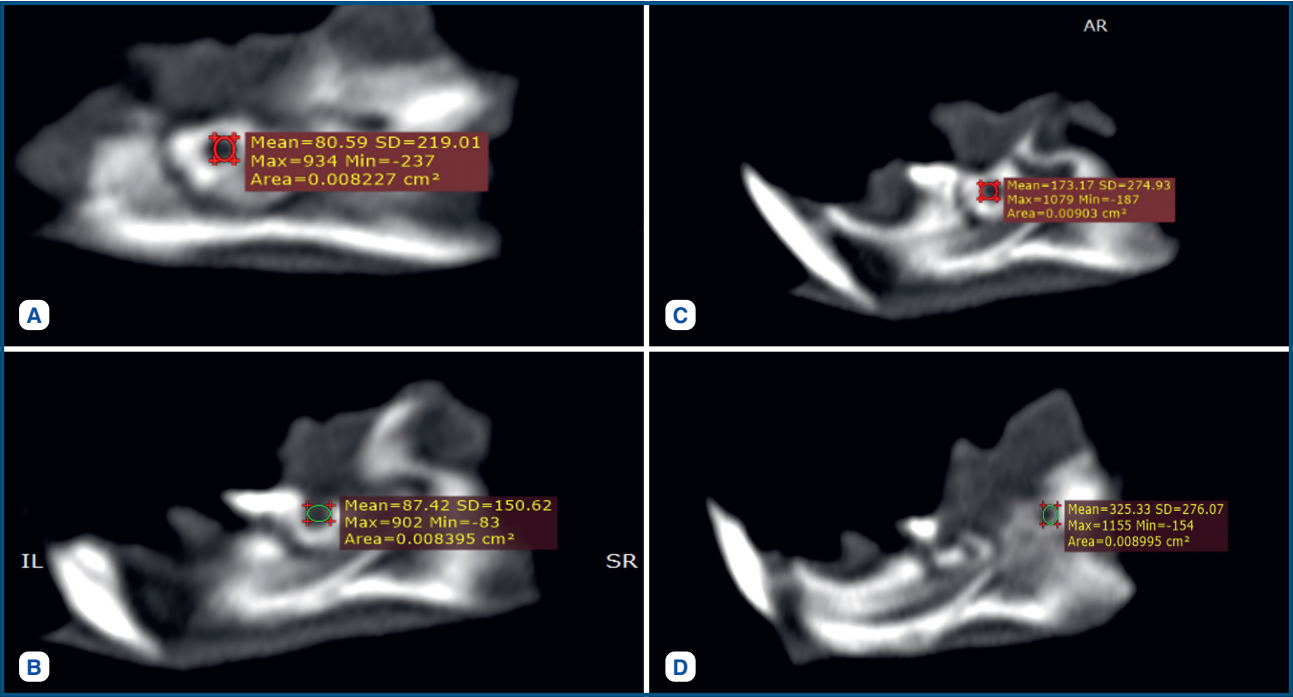


Рисунок 3. Зрізи КТ щурів з визначенням показника щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту в групі 2: А) 7-ма доба); В) 14-та доба; С) 21-ша доба; Д) 28-ма доба

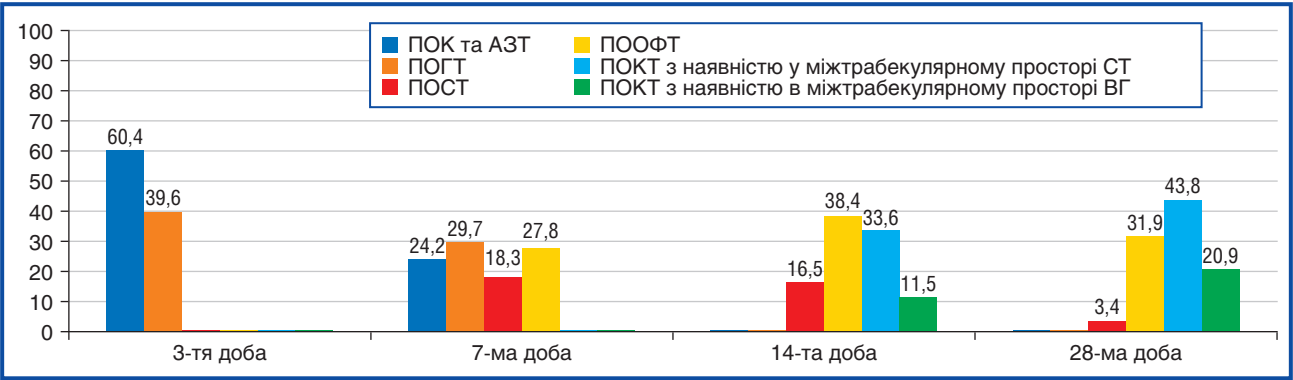


Рисунок 4. Результати морфометричного дослідження регенерату, що заповнював порожнину змодельованого ДД, у щурів групи 2

Україна) з гідроксіапатитом і β-трикальційфосфатом, подано в табл. 2

Показники щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту за даними КТ протягом періоду спостереження (7-ма, 14-та, 21-ша, 28-ма доба) в дослідній групі 3, у якій ДД заповнювали колагеновою губкою з полідезоксирибонуклеотидом, подано в табл. 3.

Показники щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту за даними КТ протягом періоду спостереження (7-ма, 14-та, 21-ша, 28-ма доба)

в дослідній групі 4, у якій ДД одночасно заповнювали синтетичним кістковим трансплантатом і колагеновою губкою з полідезоксирибонуклеотидом, подано в табл. 4.

Обговорення

В експерименті та клінічних дослідженнях було оцінено остеогенний потенціал кістковозамісних матеріалів і шляхи посилення їх остеоіндуктивних та остеокондуктивних властивостей для усунення дефектів нижньої щелепи.

Таблиця 3. Зміни показника щільності кісткового регенерату в групі 3 (n = 24)

Час виведення з експерименту, доба	Щільність регенерату (HU), x ± S	Рівень значущості відмінності, p
7-ма	72,00 ± 97,14	< 0,001
14-та	97,77 ± 111,67	
21-ша	184,18 ± 241,64	
28-ма	663,60 ± 375,05	

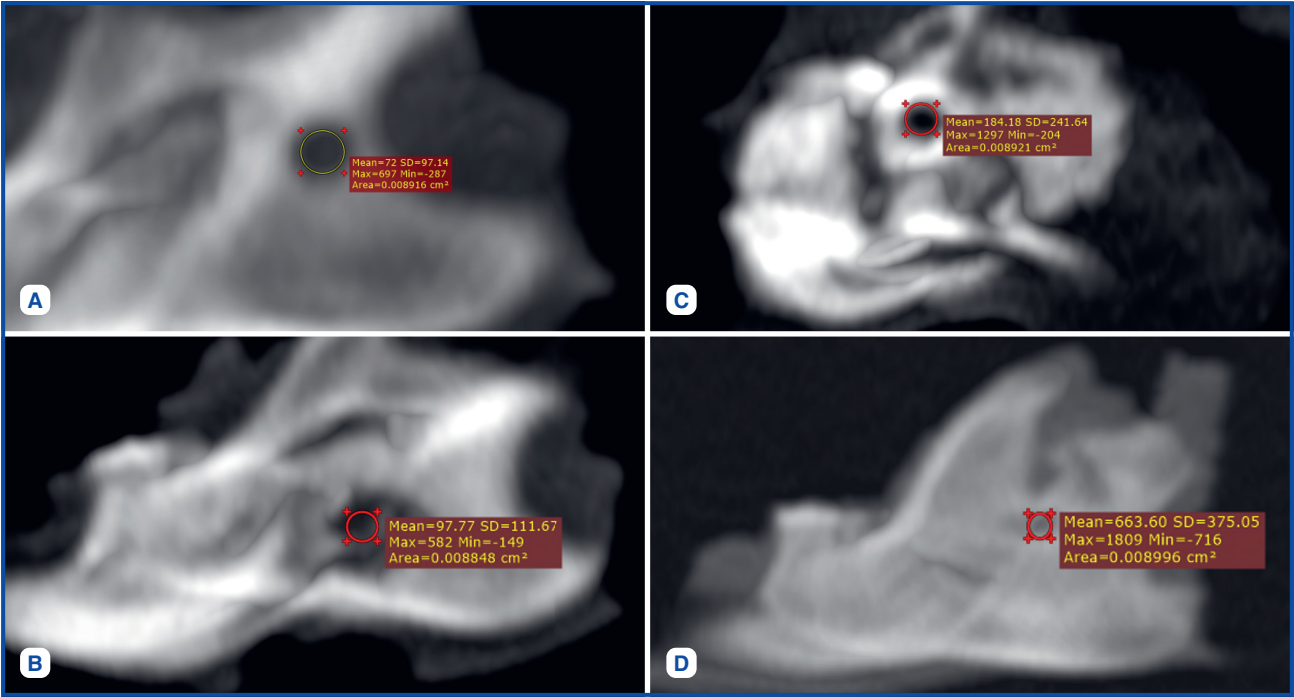


Рисунок 5. Зрізи КТ щурів з визначенням показника щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту в групі 3: А) 7-ма доба; В) 14-та доба; С) 21-ша доба; D) 28-ма доба

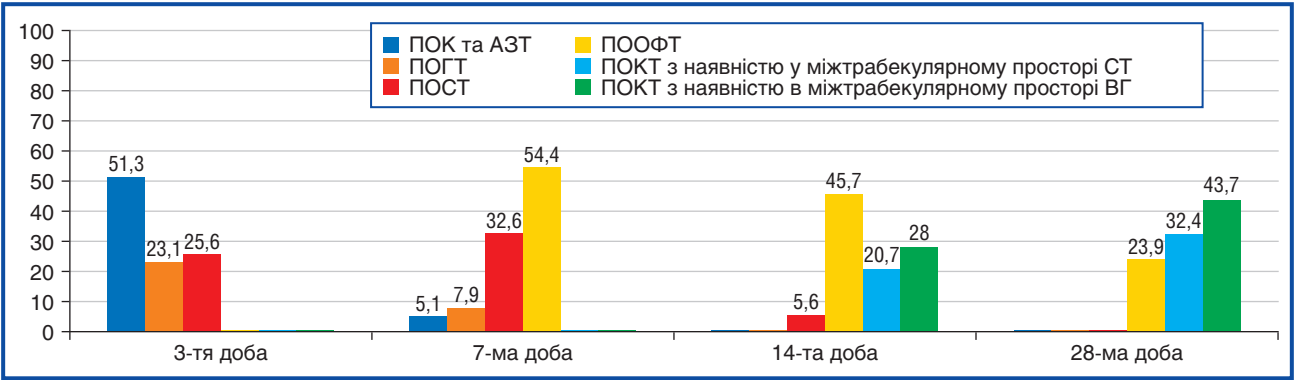


Рисунок 6. Результати морфометричного дослідження регенерату, що заповнював порожнину змодельованого ДД, у щурів групи 3

Таблиця 4. Зміни показника щільності кісткового регенерату в групі 4 (n = 24)

Час виведення з експерименту, доба	Щільність регенерату (HU), $\bar{x} \pm S$	Рівень значущості відмінності, p
7-ма	216,39 $\pm$ 107,58	< 0,001
14-та	268,50 $\pm$ 373,39	
21-ша	452,43 $\pm$ 130,94	
28-ма	798,48 $\pm$ 278,10	

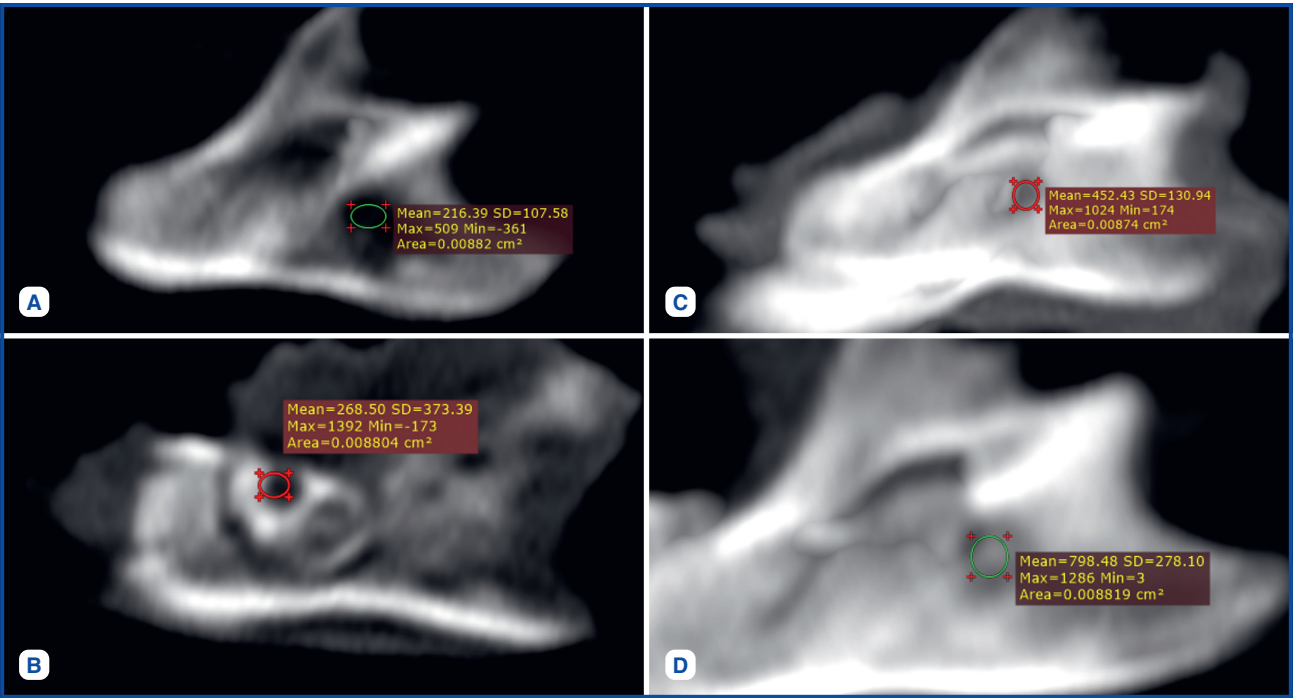


Рисунок 7. Зрізи КТ щурів з визначенням показника щільності кісткового регенерату в ділянці кісткового дефекту в групі 4: А) 7-ма доба; В) 14-та доба; С) 21-ша доба; D) 28-ма доба

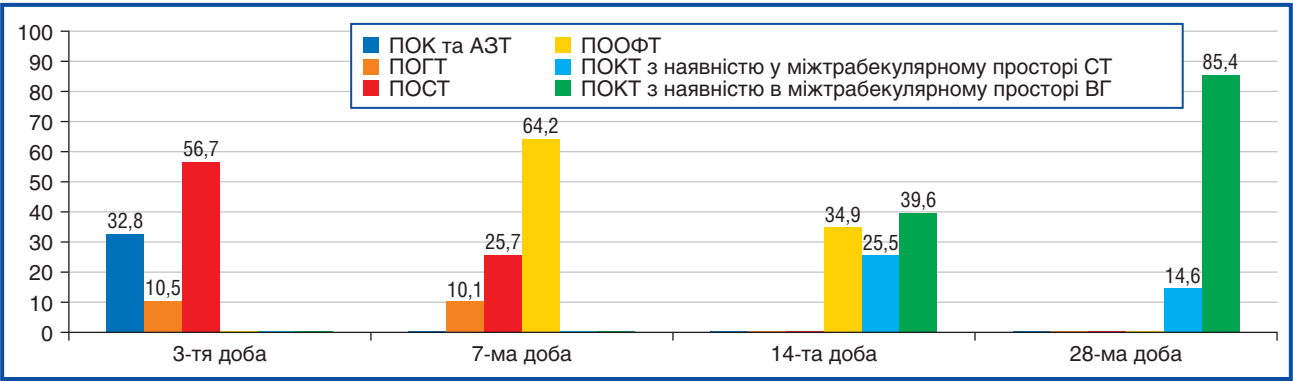


Рисунок 8. Результати морфометричного дослідження регенерату, що заповнював порожнину змодельованого ДД, у щурів групи 4

Зіставляючи отримані дані денситометрії регенерату в ділянці ДД кута нижньої щелепи щура та результати морфологічного дослідження, можна прослідкувати пряму залежність між збільшенням показника рентгенологічної щільності регенерату, вираженої в одиницях Хаунсфілда, і збільшенням питомого об'єму остеогенної фіброретикулярної тканини й пластинчастої кісткової тканини.

При порівнянні результатів морфометричного дослідження регенерату між дослідними групами прослідковується збільшення об'єму остеогенної фіброретикулярної тканини і пластинчастої кісткової тканини від

групи 1 до групи 4, і найбільший показник питомого об'єму пластинчастої кісткової тканини спостерігається в групі, де ДД одночасно заповнювали синтетичним кістковим трансплантатом «Біомін ГТ» («Рапід», Україна) та колагеновою губкою (DSI Dental Solutions Ltd, Ізраїль) з полідезоксирибонуклеотидом (BNC Korea, Корея).

Кожен матеріал у даній композиції відповідав за окремий етап регенерації, що в сукупності скоротило загальний час відновлення кісткового дефекту:

1) синтетичний кістковий трансплантат «Біомін ГТ» («Рапід», Україна) — створення первинного об'є-

му тривимірної структури майбутньої губчастої кістки, проростання в створений об'єм фібро- та колагенових волокон і кровоносних судин;

2) колагенова губка (DSI Dental Solutions Ltd, Ізраїль) — скаффолд для внесення препарату полідезоксирибонуклеотиду;

3) полідезоксирибонуклеотид (BNC Korea, Корея) — розщеплюючись ДНК-нуклеазою, вивільняє аденозин, який є донором пуринових і піримідинових основ для salvage pathway [18], зв'язуючись із рецепторами A2A:

— впливає на зниження синтезу прозапальних агентів (TNF α , IL-1 β , IL-6, MMP-13, PGE2, NO, IL-8);

— зменшує судинну проникність;

— підвищує синтез протизапальних цитокінів IL-10;

— активує синтез факторів росту (EGF, FGF, IGF, VEGF);

— сприяє хемотаксису лімфоцитів, активації NO-синтети [11].

Висновки

Було виявлено факт активації репаративного остеогенезу в ділянці дірчастого дефекту нижньої щелепи тварин у випадках його заповнення синтетичним кістковим трансплантатом і більш виражений ефект — при комбінації з колагеновою губкою. Лікувальний ефект був максимально вираженим у разі одночасного застосування кістковозамісного матеріалу і колагенової губки, що маніфестувало на 28-му добу формування повноцінного кісткового регенерату.

Отже, субстанція з трьох матеріалів кумулювала формування регенерату та сформувала більш типову тканинну репарацію, що було обумовлено: швидшим очищенням дірчастого дефекту від фрагментів крові й альтеративно змінених тканин; активацією факторів росту [10, 11] і зміною в складі регенерату грануляційної, сполучної, остеогенної фіброретикулярної тканин зі швидшим формуванням пластинчастої кісткової тканини; активацією неоангіогенезу; зменшенням продукції прозапальних медіаторів; кількісною зміною базової багатоклітинної одиниці, що забезпечувало активну проліферацію кісткової тканини, ріст і вrostання в регенерат; покращенням процесів мінералізації трабекул пластинчастої кісткової тканини з регенерату з підвищеним вмістом остеоцитів.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи кафедри хірургічної стоматології Національного медичного університету імені О.О. Богомольця «Реконструктивно-відновні операції щелепно-лицевої ділянки та дентальна імплантація з урахуванням біологічних, анатомо-фізіологічних компонентів та використанням сучасних цифрових технологій» (проміжний), номер державної реєстрації 0125U000003, термін виконання: 2025–2027 рр., керівник — Маланчук Владислав Олександрович.

Внесок авторів. Гринюк О.І. — проведення експериментальних досліджень, написання статті, формулю-

вання висновків; Мирошніченко М.С. — проведення клінічних досліджень, аналіз отриманих даних і їх статистична обробка, оформлення ілюстрацій.

Список літератури

1. Kim K, Ibrahim AMS, Koolen PGL, Lee BT, Lin SJ. Trends in facial fracture treatment using the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program database. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2014;133(3):627-638. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000438457.83345.e9>.
2. Morrow BT, Samson TD, Schubert W, Mackay DR. Evidence-based medicine: Mandible fractures. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2014;134(6):1381-1390. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000000717>.
3. Ochs M, Chung W, Powers D. Trauma surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2017;75(8, Suppl.):e151-e194. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.04.023>.
4. Kumar P, Vinitha B, Fathima G. Bone grafts in dentistry. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2013;5(Suppl. 1):S125-S127. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.113312>.
5. Zhang M, Rao P, Xia D, Sun L, Cai X, Xiao J. Functional reconstruction of mandibular segment defects with individual pre-formed reconstruction plate and computed tomographic angiography-aided iliac crest flap. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2019;77(6):1293-1304. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.01.017>.
6. Wong RC, Tideman H, Kin L, Merckx MA. Biomechanics of mandibular reconstruction: A review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;39(4):313-319. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2009.11.003>.
7. Al Maruf DS., Parthasarathi K, Cheng K, Mukherjee P, McKenzie DR., Crook JM, et al. Current and future perspectives on biomaterials for segmental mandibular defect repair. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 2023;72(9):725-737.
8. Patel NR, Gohil PP. A review on biomaterials: Scope, applications & human anatomy significance. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012;2(4):91-101.
9. Quinlan E, López-Noriega A, Thompson E, Kelly HM, Cryan SA, O'Brien FJ. Development of collagen-hydroxyapatite scaffolds incorporating PLGA and alginate microparticles for the controlled delivery of rhBMP-2 for bone tissue engineering. *Journal of Controlled Release*. 2015;198:71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.11.021>.
10. Squadrito F, Bitto A, Irrera N, Pizzino G, Pallio G, Minutoli L, Altavilla D. Pharmacological activity and clinical use of PDRN. *Frontiers in Pharmacology*. 2017;8:Article 224. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00224>.
11. Galeano M, Pallio G, Irrera N, Mannino F, Bitto A, Altavilla D, et al. Polydeoxyribonucleotide: A promising biological platform to accelerate impaired skin wound healing. *Pharmaceuticals*. 2021;14(11):Article 1103. <https://doi.org/10.3390/ph14111103>.
12. Wilson IF, Lokeh A, Benjamin CI, Hilger PA, Hamler DD, Ondrey FG, et al. Prospective comparison of panoramic tomography (zonography) and helical computed tomography in the diagnosis and operative management of mandibular fractures. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2001;107(6):1369-1375. <https://doi.org/10.1097/00006534-200105000-00008>.
13. Roth FS, Kokoska MS, Awwad EE, Martin DS, Olson GT, Hollier LH, et al. The identification of mandible fractures by he-

lical computed tomography and panorex tomography. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2005;16(3):394-399. <https://doi.org/10.1097/01.scs.0000171964.01616.a8>.

14. Astepenko OO. Rezultaty rentgen-strukturnoho analizu di-lankyi kistkovoho zroshchennia za danymy MSKT u khvorykh z pere-lomamy ta deformatsiiami kistok lytsevoho cherepa pry zastosuvanni riznykh sposobiv osteosintezu [Results of X-ray structural analysis of the bone union area based on MSCT data in patients with fractures and deformities of facial skull bones using different osteosynthesis methods]. *Visnyk Problem Biologii ta Medytsyny*. 2015;2(1):317-324.

15. Liakh YE, Guryanov VG, Khomenko VN, Panchenko OA. Osnovy kompiuternoi biostatistiki: Analiz informatsii v biologii, meditsini i farmatsii statisticheskim paketom MedStat [Fundamentals of computer

biostatistics: Analysis of information in biology, medicine, and pharmacy using the MedStat statistical package]. Donetsk: Papakitsa EK, 2006.

16. Gurianov VH, Liakh YY, Parii VD, Korotkyi OV, Chalyi OV. Posibnyk z biostatystyky. Analiz rezultativ medychnykh doslidzhen u pa-keti EZR (R-statistics) [Biostatistics guide: Analysis of medical research results using the EZR (R-statistics) package]. Kyiv: Vistka, 2018.

17. Rebroya OY. Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA (3rd ed.) [Statistical analysis of medical data: Application of the STATISTICA software package]. 2006.

Отримано/Received 05.05.2026

Рецензовано/Revised 02.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 10.06.2026 ■

Information about authors

Oleksii Gryniuk, PhD-student, Department of Surgical Dentistry, O.O. Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: agrunyk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-5975-7665>
Mykhailo Miroshnychenko, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of General and Clinical Patiphiology named by D.O. Alpern, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: msmyroshnychenko@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6920-8374>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. This article is part of the planned research project of the Department of Surgical Dentistry at the Bogomolets National Medical University: "Reconstructive and restorative surgeries of the maxillofacial region and dental implantation considering biological, anatomical and physiological components and the use of modern digital technologies" (interim stage); state registration number: 0125U000003; implementation period: 2025–2027; project supervisor — V.O. Malanchuk.

Authors' contribution. O.I. Gryniuk — experimental research, writing the article, formulating conclusions; M.S. Miroshnychenko — clinical research, analysis and statistical processing of the data obtained, preparing illustrations.

O.I. Gryniuk¹, M.S. Miroshnychenko²

¹ Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

² V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Application of a multicomponent substrate for bone grafting in the correction of jaw defects: an experimental study *in vivo*

Abstract. Background. Bone defects in the maxillofacial region often require the use of bone substitute materials. Most of the bone substitute materials studied do not possess both osteoconductive and osteoinductive properties. Furthermore, they have varying resorption-integration times, which affects the overall rehabilitation time for the patients. The purpose is to compare the results of a morphological study of a simulated perforated jaw defect filled with various bone substitute materials with the results of densitometry of bone regenerate in these defect sites. **Materials and methods.** An *in vivo* experiment was conducted on 96 certified male laboratory rats, which were divided into 4 groups of 24 animals each. The created perforated jaw defects were filled with a blood clot, a bone substitute material Biomin GT (RAPID, Ukraine), a collagen sponge (DSI Dental Solutions Ltd., Israel), and a polydeoxyribonucleotide (BNC Korea, Korea). The animals (6 per group) were euthanized on days 3, 7, 14, and 28 by instantaneous decapitation. Microscopic specimens were examined using a ZEISS Primostar 3 microscope (Carl Zeiss, Germany) with a built-in Axiocam 208 color camera. Morphometry was performed using the Labscope software; the absolute number of osteoblasts and osteocytes in the lamellar bone tissue bordering the cavity of the perforated defect was counted. Computed tomography of the regenerated tissue was done by means of a Planmeca ProMax 3D Max cone-beam tomograph (Planmeca Oy, Helsinki, Finland). Scanning was performed using the following technical parameters: voltage of 96 kV, current of 10–11 mA, field of view ranging from

8 × 8 to 23 × 26 cm depending on the area under examination, slice thickness of 0.2–0.4 mm, exposure time of 12–18 s. The resulting DICOM images were processed using specialized Radiant software.

Results. When the perforated defect was filled with a composition of bone substitute material, collagen sponge, and polydeoxyribonucleotides, the highest-quality bone regenerate compared to other groups was obtained by day 28 of observation, as confirmed by morphometric analysis and densitometry of the regenerated area. Morphometric analysis revealed an increase in the specific volume of osteogenic fibroreticular and lamellar bone tissue, while densitometric analysis showed an increase in the radiographic density of the regenerated bone, expressed in Hounsfield units. **Conclusions.** Due to the combined effect of polydeoxyribonucleotide, bone substitute material, and a collagen sponge, the formation of a fully developed bone regenerate was achieved in a shorter time compared to other groups. This effect is due to the influence of: 1) polydeoxyribonucleotide — on reducing the synthesis of pro-inflammatory agents and vascular permeability, increasing the synthesis of anti-inflammatory cytokines, and activating the synthesis of growth factors, lymphocyte chemotaxis, and NO-synthase; 2) the bone substitute material — on the formation of a three-dimensional structure of the future bone regenerate; 3) the collagen sponge as a scaffold for polydeoxyribonucleotide.

Keywords: polydeoxyribonucleotide; bone regeneration; jaw defects; synthetic bone graft; hydroxyapatite; β-tricalcium phosphate; reparative osteogenesis

Використання інструментів на основі штучного інтелекту в рутинній практиці лікаря стоматолога-хірурга

Резюме. Актуальність. Штучний інтелект (ШІ) стрімко інтегрується в сучасну стоматологію, демонструючи значний потенціал у діагностиці, аналізі медичних зображень, плануванні й прогнозуванні результатів лікування. Водночас його практичне застосування залишається обмеженим через недостатню підготовку фахівців, обмежений доступ до технологій, юридичні аспекти й недовіру до алгоритмів. Подальша ефективна інтеграція ШІ в клінічну практику потребує не лише технологічного розвитку, а й системного навчання стоматологів, формування цифрової компетентності. **Метою** даного дослідження було оцінити рівень обізнаності щодо сфери практичного використання технологій штучного інтелекту в клінічній практиці і персональне ставлення до них лікарів стоматологів-хірургів. **Матеріали та методи.** Було розроблено анонімну анкету з 29 запитань, що складалась із соціального блоку і спеціальних запитань з однією правильною відповіддю, для оцінки рівня обізнаності та зацікавленості стоматологів щодо застосування інструментів на основі ШІ, зокрема в плануванні й проведенні дентальної імплантації. Анкетування відбувалось у травні — червні 2026 року, участь була добровільною. Для аналізу даних було застосовано методи описової та аналітичної статистики. **Результати.** Розрив між декларованим інтересом (81,5 %) і фактичним упровадженням (33,3 %) ШІ в рутинну практику є відчутним, що чітко ілюструє technology adoption gap. 70,4 % респондентів мають лише часткове або нульове розуміння ШІ-інструментів, при цьому 81,5 % зацікавлені в їх використанні. Підтвердженням тому є загальний наративний показник «сприйнята корисність ШІ» (коефіцієнт α Кронбаха = 0,84 (95% ДІ 0,76–0,90)). **Висновки.** Зацікавленість лікарів у використанні технологій ШІ є високою, основними перешкодами для інтеграції ШІ в рутинну клінічну практику є недостатній рівень знань і практичних навичок. Водночас інструменти на основі ШІ мають значний потенціал для виявлення й аналізу ключових факторів, пов'язаних з ризиком розвитку післяопераційних ускладнень. **Ключові слова:** штучний інтелект; нейронні мережі; дентальна імплантація; планування; практичні навички

Вступ

Штучний інтелект (ШІ) є однією з найперспективніших ланок розвитку сучасної медицини та стоматології. Стрімкий розвиток машинних алгоритмів, глибокого навчання (deep learning) і комп'ютерного зору забезпечує активну інтеграцію в медичну практику, допомагаючи з прийняттям клінічних рішень, аналізом зображень, плануванням і прогнозуванням обраного лікування. У стоматології використання технологій ШІ має широкий спектр завдань: від детекції патологічних

змін на рентгенівських зображеннях і конусно-променевої комп'ютерній томограмі (КПКТ) до автоматизованого цифрового планування дентальної імплантації, ортодонтичного лікування, прогнозування розвитку ускладнень [1–4].

Незважаючи на стрімкий розвиток технологій ШІ та масштабування сфер їх використання, інтеграція цих інструментів у щоденну клінічну практику лікарів-стоматологів відбувається непропорційно. ШІ вже демонструє високий рівень точності при аналізі рент-

генівських зображень, автоматизованій діагностиці, плануванні та прогнозуванні клінічних результатів. У той же час ефективність інтеграції таких технологій залежить не тільки від технічних можливостей, але і від готовності лікарів до використання нових цифрових інструментів, рівня їх обізнаності, довіри до точності алгоритмів і доступності відповідного навчання.

Результати інтернаціональних досліджень демонструють поступове зростання інтересу до використання штучного інтелекту, проте рівень його практичного використання залишається порівняно низьким [5–10]. Опитування, проведені серед лікарів-стоматологів різних країн, показали достатній рівень обізнаності щодо потенційних можливостей ШІ та досить позитивне ставлення до його використання в клінічній практиці. Водночас більша частина респондентів відзначила обмежений практичний досвід використання таких технологій. Найпопулярнішими факторами, що стримують їх реалізацію, назвали недостатній рівень знань, відсутність навчання, обмежений доступ до відповідних технологій, юридичну невизначеність і недовіру до результатів алгоритмів машинного навчання. Разом з цим значна частина стоматологів вважає, що впровадження технологій ШІ зможе підсилити точність діагностики, оптимізувати планування лікування та поліпшити клінічні результати.

Попри стрімке зростання кількості досліджень із застосування штучного інтелекту в стоматології, значна їх частина зосереджена на оцінюванні діагностичних можливостей і точності результатів або загальному ставленні лікарів до сучасних технологій [11–15]. Водночас залишаються маловивченими чинники, що сприяють упровадженню ШІ в клінічну практику стоматологів або гальмують його, рівень обізнаності, досвід використання у власній практиці, налаштованість щодо навчання й основні бар'єри щодо впровадження ШІ [4]. Окрім цього, в Україні подібних досліджень практично немає, що створює перешкоди на шляху до оцінки готовності вітчизняної спільноти стоматологів до використання ШІ-технологій і ускладнює порівняння отриманих результатів з міжнародними даними.

Метою даного дослідження було оцінити рівень обізнаності щодо сфери практичного використання технологій штучного інтелекту в клінічній практиці та персональне ставлення до них лікарів стоматологів-хірургів, зокрема в частині підготовки до дентальної імплантації та запобігання можливим ризикам та ускладненням.

Матеріали та методи

Для розуміння поширеності знань про методики ШІ та глибини їх застосування в клінічній практиці лікарем-стоматологом було розроблено анонімну анкету, що містила 29 запитань. Вона складалась із соціального блоку і спеціальних запитань з однією правильною відповіддю для оцінки рівня обізнаності й зацікавленості стоматологів щодо застосування інструментів на основі штучного інтелекту, зокрема в плануванні та проведенні дентальної імплантації. Анкетування відбувалось у травні — червні 2026 року, участь була добровільною.

Опитування передбачало анонімізацію даних, тривало близько 15–20 хв, результати будуть використані лише в узагальненому вигляді для наукових цілей. Основний фреймворк було створено на базі безкоштовної платформи Microsoft Forms з формою зворотного зв'язку у фіналі опитування.

Аналіз даних проведено методами описової статистики, узгодженість параметрів впливу ШІ вивчали з використанням коефіцієнта α Кронбаха (internal consistency), а також критерію Крускала — Уолісса та Спірмена для аналізу залежностей якісних параметрів.

Результати

В опитуванні взяли участь 54 респонденти — лікарі стоматологи-хірурги різних клінічних установ м. Києва. Віковий діапазон: 22 особи віком 25–30 років, 18 осіб — 30–39 років, 4 лікарі — 40–49 років, 4 лікарі — 50–59 років, 6 спеціалістів — до 25 років. Гендерний розподіл: переважали чоловіки — 44 проти 10 осіб жіночої статі.

Клінічний стаж респондентів варіював: до 5 років — 10 осіб, основну частку становили спеціалісти зі стажем 6–10 років, 11–20 років — 10 осіб і понад 20 років — 6 опитуваних.

Серед основних спеціальностей респонденти зазначали спеціалізацію з хірургічної стоматології — 32 особи, 16 осіб — з щелепно-лицевої хірургії, четверо — з ортопедичної стоматології, двоє — з терапевтичної стоматології, утім, як вторинна спеціалізація вказувалася хірургічна стоматологія.

За місцем роботи: 16 респондентів були співробітниками закладів охорони здоров'я державних або комунальних форм власності, 32 — займалися приватною стоматологічною практикою, інші 6 — провадили практичну діяльність у межах університетської клініки або клінічних баз закладів вищої освіти. Десять опитуваних були керівниками стоматологічного бізнесу, 36 — належали до категорії найманих працівників, інші 8 — до науково-педагогічних працівників.

Визначення діапазону роботи з новітніми технологіями аналізувалося за відповідями на такі запитання. На запитання «Чи маєте Ви доступ до КПКТ у Вашій клінічній практиці?» 26 опитуваних відповіли, що направляють своїх пацієнтів до спеціалізованих діагностичних центрів міста, інші 28 — зазначили, що мають у ресурсній базі комп'ютерний томограф і виконують КПКТ у себе на місці. Щодо варіантів цифрових технологій у практиці лікаря-стоматолога (питання містило можливість мультिवибору) респонденти зазначали, що використовують цифрову рентгенографію (візіографію) — 40 осіб (74 %), 3D-друк — 28 (51,8 %), КПКТ — 50 (92,6 %), інтраоральний сканер — 32 (59,3 %), CAD/CAM-системи — 20 (37 %), навігаційну хірургію — 34 (62,9 %), цифрове планування імплантації — 36 (66,6 %). Причому 30 респондентів відчують себе максимально компетентними в цифрових технологіях, а 18 опитуваних використовують цифрові технології як опцію.

Завантаженість клінічного прийому: по 18 лікарів мають від 1 до 5 пацієнтів і від 6 до 10 пацієнтів на місяць, яким виконують дентальну імплантацію; 14 рес-

понтентів мають більш інтенсивний прийом — понад 10 пацієнтів для дентальної імплантації щомісяця, четверо — не виконують цей тип втручання.

На ринку України наявний широкий вибір імплантологічних систем. Ми визначили, що 8 опитуваних користуються однією імплантологічною системою, 22 — двома, 20 — трьома або більше. Враховуючи ці дані, ми поцікавились тим, що, на думку лікарів, найбільше впливає на їхні пріоритети або вибір. Отже, 36 з них зазначили, що це анатомічні умови ділянки щелепи, де проводитиметься хірургічна інтервенція, власні пререференції обрали 14 опитуваних, 24 респонденти спиралися на технічні особливості системи, 10 осіб здійснювали вибір, ґрунтуючись на емпіричному досвіді.

Звісно, існує ризик розвитку післяопераційних ускладнень і при таких оперативних втручаннях. Серед опитуваних нами осіб 14 відзначили, що такі явища траплялися дуже часто (1 на 5 пацієнтів), 20 респондентів — з частотою 1 на 20 пацієнтів; 14 фахівців — інколи (1 на 50 пацієнтів), 2 зазначили, що подібні епізоди траплялися вкрай рідко (1 на 100 клінічних випадків). Труднощі, з якими зазвичай стикалися лікарі: складна, нетипова анатомія — 16 опитуваних, брак часу — 12 осіб, акцент на недостатньому об'ємі кісткової тканини зробили 44 респонденти, 18 лікарів обрали складність позиціонування імплантату, 6 — зробили акцент на відсутності комплаєнсу з пацієнтом, 12 — на недостатньому досвіді лікаря у вирішенні складних клінічних кейсів.

Конкретні клінічні ускладнення, з якими стикались опитувані нами спеціалісти: рання втрата імплантату — 30, перфорація дна гайморової пазухи — 24, пошкодження нижньоальвеолярного нерва — 12, недостатня первинна стабільність — 34, неправильна позиція дентального імплантату — 30, і лише 8 опитуваних не стикались із запропонованими варіантами ускладнень.

Аналіз наслідків і робота над помилками є невід'ємною частиною практичної діяльності будь-якого свідомого лікаря, який бажає розвиватися. У відповідь на запитання «На Вашу думку, що могло б допомогти найбільше зменшити ризики під час імплантації?» поліпшення викладання в університетах зазначили 24 особи, додаткове практичне навчання лікарів — 28, така ж кількість опитуваних прогнозує, що цифрове планування дало б змогу зменшити відсоток небажаних наслідків, краща діагностика — 20, використання ШІ-інструментів — 36, а от затверджені національні клінічні протоколи та інші правові документи, що стосуються юридичного регламенту виконання дентальної імплантації, обрали 28 респондентів.

Взагалі із «застосуванням ШІ в стоматології» не знайомі 14 осіб, частково знайомі — 24, решта — володіють певною інформацією і впевнено стверджують, що знайомі. У відповідь на запитання «Які можливості використання ШІ у стоматології Вам відомі?» 26 осіб зазначили автоматичну сегментацію анатомічних утворень, 28 респондентів обрали аналіз КПКТ і рентгенологічних зображень, автоматичне планування дентальної імплантації — 18, прогнозування результатів — 16, оцінку анатомічних ризиків — 14, мали складнощі з відповіддю 16 лікарів.

Таблиця 1. Фактори, що гальмують інтеграцію ШІ (N = 54)

Фактор*	Абс.	%
Недостатня обізнаність	32	59,3
Відсутність навчання	30	55,6
Недовіра до алгоритмів ШІ	30	55,6
Висока вартість	20	37
Юридичні питання	18	33,3
Складність інтеграції в робочий процес	16	29,6

Примітка: * — відповіді на запитання передбачали мультिवибір.

Серед когорти респондентів лише 18 зазначили, що користуються інструментами на основі ШІ, 6 — не впевнені, решта не користувалися жодного разу. Проте зацікавленість у використанні ШІ висловили 44 опитувані. Фактори, що можуть впливати на гальмування прогресу або інтеграцію ШІ в рутинну практику, зазначені в табл. 1

При аналізі тверджень «ШІ може підвищити точність планування імплантації», «ШІ може зменшити ризик ускладнень», «ШІ може спростити аналіз КПКТ», «ШІ може зекономити час лікаря» і кількості обраних відповідей прихованим об'єднуючим поняттям є «сприйнята корисність ШІ» (коефіцієнт α Кронбаха = 0,84 (95% ДІ 0,76–0,90)). Отже, добра узгодженість говорить про те, що респонденти відповідали на ці 4 твердження таким логічним чином: той, хто вважає, що ШІ підвищує точність, з високою імовірністю також вважає, що ШІ зменшує ризики, спрощує аналіз КПКТ і економить час.

Утім, визначити значущу залежність між статтю і зацікавленістю ШІ ($U = 58$; $p = 0,86$) або практичним стажем і зацікавленістю ШІ ($N = 1,79$, $p = 0,62$) не вдалося.

Обговорення

Розрив між декларованим інтересом (81,5 %) і фактичним упровадженням (33,3 %) є відчутним — це класична ілюстрація technology adoption gap. Лікарі хочуть, але не роблять. Тобто сам факт зацікавленості не є предиктором упровадження. 70,4 % респондентів мають лише часткове або нульове розуміння ШІ-інструментів, при цьому 81,5 % зацікавлені в їх використанні. Це підтверджує, що інтерес значною мірою випереджає компетентність, тобто люди хочуть інструмент, суть якого до кінця не розуміють. Можна вважати, що інтерес продиктований очікуваннями або маркетинговим наративом про ШІ, а не усвідомленим клінічним запитом.

Три топові бар'єри (недостатня обізнаність, відсутність навчання, недовіра до алгоритмів ШІ), озвучені в більшості відповідей респондентів, стосуються освітньо-психологічного напрямку, набагато меншу частку становлять інфраструктурні чи фінансові чинники. Вартість і юридичні питання, які зазвичай вважають головними перепонами для нових технологій, за результатами опитування посідають нижчі позиції. Виходить, що інвестиції в освітні програми та практичні курси

матимуть більший вплив на впровадження ШІ, ніж зде-шевлення технологій чи законодавчі зміни.

Це узгоджується з даними іншого блоку: у відпо-відях на запитання «Що допоможе зменшити ризики імплантації?» використання ШІ-інструментів (66,6 %) випередило навіть додаткове практичне навчання (28 %) і затверджені клінічні протоколи (28 %). Лікарі вірять у потенціал ШІ як рішення — попри те, що самі його майже не використовують і погано розуміють.

Як бачимо, існує основна клінічна проблема (де-фіцит кісткової тканини, про яку говорять 81,5 % респондентів), але саме той функціонал ШІ, який міг би допомогти з оцінкою кісткового об'єму й ризиків (сегментація, оцінка ризиків), найменше відомий рес-пондентам (33,3 %). Тобто обізнаність щодо ШІ не збі-гається з реальними клінічними потребами — респон-денти краще знають про узагальнені корисні функції ШІ (аналіз зображень — 51,8 %), ніж про специфічні інструменти прямого клінічного застосування там, де вони найбільше потрібні.

Головний фактор вибору імплантологічної сис-теми — анатомічні передумови ділянки щелепи (36 відповідей), а не власні преференції (14) чи технічні особливості системи (24). Утім, незважаючи на комерці-алізацію галузі (майже 60 % — приватна практика), клі-нічне рішення превалює над бізнес-логікою при виборі системи імплантату. Особливо коли існують загальні наративи про комерціалізацію хірургічної стоматології в приватному секторі.

Показово, що 92,6 % користуються КПКТ, але лише 28 із 54 (51,8 %) мають власний томограф — решта на-правляють пацієнтів у діагностичні центри. І тут варто зазначити, що майже половина хірургів не контролює якість/протокол КПКТ-зображення напряду, а працює з тими даними, що отримує ззовні, — це потенційний фактор варіативності якості діагностики, який варто врахувати при обговоренні бар'єрів щодо впровадження ШІ-аналізу зображень. Адже якість вхідних даних, їх збір, обробка, як і взагалі наявність таких data-центрів (баз даних) — критичний фактор для точності ШІ-ал-горитмів.

Висновки

Інтерес до технології суттєво випереджає рівень практичної компетентності лікарів, а отже, впроваджен-ня ШІ в рутинну практику стримується не браком мо-тивації, а дефіцитом знань і практичних навичок. Утім, інструменти на основі ШІ можуть стати в нагоді при аналізі найбільш проблемних факторів, що впливають на розвиток післяопераційних ускладнень.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Дослідження не отри-мувало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Астахов М.О. — збір і обробка мате-ріалів, аналіз даних, написання тексту; Паливода Р.С. — аналіз даних, написання тексту, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

1. Surdu A, Budala DG, Luchian I, Foia LG, Botnariu GE, Scutariu MM. Using AI in optimizing oral and dental diagnoses — A narrative review. *Diagnostics*. 2024;14(24):Article 2804. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14242804>.
2. Huang YK, Hsu LP, Chang YC. Artificial intelligence in clinical dentistry: The potentially negative impacts and future actions. *Journal of Dental Sciences*. 2022;17(4):1817-1818. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.07.013>.
3. Najeib M, Islam S. Artificial intelligence (AI) in restorative dentistry: Current trends and future prospects. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):Article 592. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05989-1>.
4. Liu TY, Lee KH, Mukundan A, Karmakar R, Dhiman H, Wang HC. AI in dentistry: Innovations, ethical considerations, and integration barriers. *Bioengineering*. 2025;12(9):Article 928. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12090928>.
5. Ivanišević A, Tadin A. Artificial intelligence and modern technology in dentistry: Attitudes, knowledge, use, and barriers among dentists in Croatia — A survey-based study. *Clinics and Practice*. 2024;14(6):2623-2636. <https://doi.org/10.3390/clin-pract14060207>.
6. Ellakany P, Tauqir S, Ali S, Mikhail SS. Artificial intelligence usage among dental students/dentists of different educational level: A multi-country survey. *BMC Oral Health*. 2025;26(1):Article 81. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07476-z>.
7. Kostov II, Yordanova GR. Attitudes of dentists and patients towards the introduction of artificial intelligence in dentistry. *Journal of Medicine and Life*. 2025;18(5):472-477. <https://doi.org/10.25122/jml-2024-0382>.
8. Hegde S, Nanayakkara S, Jordan A, Jeha O, Patel U, Luu V, et al. Attitudes and perceptions of Australian dentists and dental students towards applications of artificial intelligence in dentistry: A survey. *European Journal of Dental Education*. 2025;29(1):9-18. <https://doi.org/10.1111/eje.13042>.
9. Mishra P, Singh AV, Kar P, Chaturvedi A. Knowledge, attitudes, and perceptions of dental professionals regarding robotics and artificial intelligence in dentistry: A cross-sectional study in Lucknow, India. *Cureus*. 2025;17(2):Article e78882. <https://doi.org/10.7759/cureus.78882>.
10. Jeong H, Han SS, Jung HI, Lee W, Jeon KJ. Perceptions and attitudes of dental students and dentists in South Korea toward artificial intelligence: A subgroup analysis based on professional seniority. *BMC Medical Education*. 2024;24(1):Article 430. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05441-y>.
11. Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, Qamar W, Halim MSB, Maqsood A, et al. Artificial intelligence techniques: Analysis, application, and outcome in dentistry — A systematic review. *BioMed Research International*. 2021;2021:Article 9751564. <https://doi.org/10.1155/2021/9751564>.
12. Fontenele RC, Gerhardt MDN, Picoli FF, Van Gerven A, Nomidis S, Willems H, et al. Convolutional neural network-based automated maxillary alveolar bone segmentation on cone-beam computed tomography images. *Clinical Oral Implants Research*. 2023;34(6):565-574. <https://doi.org/10.1111/clr.14063>.
13. Vázquez-Sebrango G, Anitua E, Macía I, Arganda-Carreas I. The role of artificial intelligence in implant dentistry: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2025;54(11):1098-1122. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2025.04.005>.

14. Elgarba BM, Fontenele RC, Du X, Mureşanu S, Tarce M, Meeus J, et al. Artificial intelligence versus human intelligence in presurgical implant planning: A preclinical validation. *Clinical Oral Implants Research*. 2025;36(7):835–845. <https://doi.org/10.1111/clr.14429>.

15. Issa J, Olszewski R, Dyszkiewicz-Konwińska M. The effectiveness of semi-automated and fully automatic segmentation for infe-

rrior alveolar canal localization on CBCT scans: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(1):Article 560. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010560>.

Отримано/Received 17.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026 ■

Information about authors

Maksym Astakhov, PhD-student, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: dr.astakhov.maksym@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-5319-1393>
Roman Palyvoda, PhD in Medicine, Associate Professor at the Department of Maxillofacial Surgery, Academic Secretary, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: r.palyvoda@nmu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7489-7170>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The study did not receive external funding.

Authors' contribution. M.O. Astakhov — collection and processing of materials, data analysis, text writing; R.S. Palyvoda — data analysis, text writing, article concept and design, text editing.

M.O. Astakhov, R.S. Palyvoda

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Use of artificial intelligence-based tools in the routine practice of dental surgeons

Abstract. Background. Artificial intelligence (AI) is rapidly being integrated into modern dentistry, demonstrating significant potential in diagnosis, medical image analysis, treatment planning, and outcome prediction. At the same time, its practical application remains limited due to insufficient training among specialists, limited access to technology, legal considerations, and distrust of algorithms. Further effective integration of AI into clinical practice requires not only technological development but also systematic training of dentists and formation of digital competencies. The aim of this study was to assess dental surgeons' level of awareness of the practical applications of AI technologies, as well as their personal attitudes toward these technologies in clinical practice.

Materials and methods. An anonymous questionnaire comprising 29 questions was developed, consisting of a social section and specific single-choice questions assessing dentists' level of awareness of, and interest in, AI-based tools, particularly in the planning and performance of dental implantation. The survey was

conducted from May to June 2026; participation was voluntary. Descriptive and analytical statistical methods were used for data analysis. **Results.** The gap between declared interest (81.5 %) and actual implementation (33.3 %) of AI in routine practice was substantial, clearly illustrating a technology adoption gap. A total of 70.4 % of respondents had only partial or no understanding of AI tools, while 81.5 % expressed interest in using them. This was confirmed by the overall composite indicator “perceived usefulness of AI” (Cronbach's $\alpha = 0.84$; 95% confidence interval: 0.76–0.90). **Conclusions.** Physicians' interest in using AI technologies is high; the main obstacles to integrating AI into routine clinical practice are insufficient knowledge and inadequate practical skills. At the same time, AI-based tools have significant potential for identifying and analyzing key factors associated with the risk of postoperative complications.

Keywords: artificial intelligence; neural networks; dental implantology; planning; practical skills

УДК 616.716.1-018.4-073.75:004.93

DOI: <https://doi.org/10.22141/aomfs.3.1.2026.44>

Буднікова А.В., Шпачинський О.С., Копчак А.В.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Комплексна оцінка кісткової тканини альвеолярного відростка за допомогою текстурних біомаркерів: систематичний огляд

Резюме. Актуальність. Якість кісткової тканини (КТ) є одним із ключових чинників успішності дентальної імплантації, кісткової пластики та реконструктивних втручань. Традиційна оцінка за даними конусно-променевої комп'ютерної томографії і цифрової рентгенографії не завжди відображає мікроархітектуру трабекулярної кістки. Радіотекстурний аналіз забезпечує кількісну оцінку структурної організації кістки та може доповнювати традиційні методи діагностики. **Мета:** узагальнити сучасні клінічні докази щодо застосування радіотекстурного аналізу для кількісного аналізу медичних зображень кісткової тканини альвеолярного відростка, визначити діагностичну та прогностичну цінність текстурних параметрів і проаналізувати методологічну якість досліджень. **Матеріали та методи.** Систематичний огляд виконано відповідно до рекомендацій PRISMA. Пошук проведено у PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar. До аналізу включено клінічні дослідження, у яких застосовували текстурний аналіз даних конусно-променевої комп'ютерної томографії або цифрової рентгенографії. Методологічну якість оцінювали за JBI Critical Appraisal Checklist. Через значну гетерогенність досліджень метааналіз не проводився. **Результати.** До якісного синтезу включено 15 клінічних досліджень. Основними параметрами дослідження були entropy, fractal dimension, GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix) та GLRLM (Gray-Level Run Length Matrix). Ці показники продемонстрували перспективність для оцінки мікроархітектури кістки, ремоделювання, прогнозування первинної стабільності імплантатів і виявлення пародонтальних та остеопоротичних змін. Основними обмеженнями були неоднорідність протоколів, ROI, алгоритмів обробки та відсутність зовнішньої валідації. **Висновки.** Радіотекстурний аналіз є перспективним допоміжним методом кількісної оцінки альвеолярної кісткової тканини, однак його широке клінічне застосування потребує стандартизації методології та проведення багатоцентрових проспективних досліджень. **Ключові слова:** радіотекстурний аналіз; альвеолярна кістка; КПКТ; текстурний аналіз; дентальна імплантація; GLCM; GLRLM; фрактальна розмірність

Вступ

Якість кісткової тканини (КТ) альвеолярного відростка щелеп є одним із ключових факторів, що визначають успішність лікування в сучасній стоматології, зокрема при проведенні дентальної імплантації, кісткової пластики, пародонтологічного лікування та реконструктивних втручань. Незважаючи на широке використання конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) та цифрової рентгенографії для

передопераційної оцінки кісткової тканини, більшість наявних методів ґрунтується переважно на суб'єктивній візуальній інтерпретації або аналізі морфометричних показників, які не завжди відображають особливості мікроархітекtonіки трабекулярної кістки [5, 14, 18].

Останніми роками значно зросла зацікавленість у методах кількісного аналізу медичних зображень, насамперед радіоміки та текстурного аналізу (ТА). На

© «Архів офтальмології та щелепно-лицевої хірургії України» / «Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine», 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Буднікова Аліна Володимирівна, аспірант, кафедра щелепно-лицевої хірургії, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна; e-mail: alinabudnikova@gmail.comFor correspondence: Alina Budnikova, PhD student, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: alinabudnikova@gmail.com

Full list of authors information is available at the end of the article.

відміну від традиційної оцінки зображень, ТА дозволяє об'єктивно кількісно характеризувати неоднорідність, просторову організацію та складність структури КТ шляхом математичної обробки цифрових зображень. Отримані текстурні характеристики потенційно відображають особливості трабекулярної архітектури, ступінь ремоделювання кістки та зміни її мінеральної щільності ще до появи виражених рентгенологічних ознак патології [4, 5, 11, 12].

Найбільшого поширення у стоматологічних дослідженнях набули параметри гістограмного аналізу, фрактальної геометрії, GLCM та GLRLM. Сукупний аналіз таких показників, як Entropy, Contrast, Homogeneity, Correlation, Angular Second Moment (ASM), Fractal Dimension (FD), Short-Run Emphasis (SRE), Long-Run Emphasis (LRE), Gray-Level Non-Uniformity (GLN) та Run-Length Non-Uniformity (RLN), дозволяє отримати більш повну характеристику мікроструктури КТ, ніж традиційна оцінка рентгенограм.

Клінічне значення текстурного аналізу активно вивчається в імплантології, пародонтології та діагностиці системного остеопорозу. Наявні дані свідчать про можливість прогнозування первинної стабільності імплантатів, оцінювання ремоделювання кісткової тканини після регенеративних втручань, кількісної характеристики періапикальних і пародонтальних змін та потенційного використання цього підходу як скринінгового інструменту [1, 5, 17, 18, 32, 33]. Водночас результати окремих досліджень залишаються неоднорідними через відмінності у методиках отримання зображень, виборі ROI, алгоритмах обробки та статистичному аналізі.

У зв'язку з цим систематизація сучасних доказових даних є актуальною. Систематичний аналіз доступних клінічних досліджень дозволяє оцінити діагностичну та прогностичну цінність окремих текстурних параметрів, визначити їхні переваги й обмеження, а також окреслити перспективи стандартизації методології та інтеграції радіотекстурного аналізу у клінічну стоматологічну практику.

Метою цього систематичного огляду є узагальнення сучасних клінічних даних щодо застосування текстурного аналізу для кількісної оцінки КТ, аналіз діагностичної та прогностичної цінності основних текстурних параметрів, критична оцінка методологічної якості опублікованих досліджень та визначення перспектив їх клінічного використання.

Матеріали та методи

Систематичний огляд виконано відповідно до рекомендацій PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Пошук наукових публікацій проводили у базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar станом на липень 2026 року. Використовували комбінації англomовних ключових слів, пов'язаних із текстурним аналізом альвеолярної кісткової тканини, конусно-променевою комп'ютерною томографією, цифровою рентгенографією, fractal analysis, GLCM, GLRLM, entropy, bone texture та іншими релевантними термінами.

Усі знайдені записи були об'єднані в єдину базу, після чого дублювати вилучали. Відбір досліджень здійснювали два незалежні рецензенти у два етапи: спочатку аналізували назви та анотації, після чого оцінювали повні тексти потенційно релевантних публікацій. Розбіжності врегульовували шляхом обговорення до досягнення консенсусу.

До систематичного огляду включали клінічні дослідження за участю пацієнтів, у яких проводили кількісний аналіз текстурних характеристик кісткової тканини альвеолярних відростків щелеп або кортикальних індексів за даними цифрової рентгенографії чи КПКТ. Включали експериментальні роботи *in vitro*, дослідження на тваринах, оглядові статті, тези конференцій, дублювати, повторні публікації та роботи без кількісного аналізу текстурних параметрів.

Після видалення дублікатів було ідентифіковано близько 150 публікацій. Після поетапного скринінгу критеріям включення та якісного синтезу відповідали 15 клінічних досліджень. Через значну клінічну та методологічну гетерогенність досліджень, відмінності у виборі ROI, параметрах отримання зображень, алгоритмах попередньої обробки та програмному забезпеченні метааналіз не проводили.

Методологічну якість включених досліджень оцінювали за допомогою JBI Critical Appraisal Checklist (Joanna Briggs Institute). Аналізували чіткість критеріїв включення, стандартизацію отримання КПКТ-зображень, стандартизацію ROI, методи попередньої обробки, оцінку відтворюваності вимірювань (ICC), зовнішню валідацію, достатність вибірки, контроль потенційних конфаундерів, адекватність статистичного аналізу та загальний ризик систематичної похибки.

Інтегральний ризик систематичної похибки визначали шляхом експертної оцінки всіх методологічних доменів без формального арифметичного підрахунку балів. Кожне дослідження класифікували як таке, що має низький, помірний або високий ризик систематичної похибки, після чого формували узагальнений методологічний коментар (табл. 1).

Результати

До якісного синтезу було включено 15 клінічних досліджень, відібраних відповідно до критеріїв PRISMA. Через виражену методологічну гетерогенність (відмінності у типах зображень, виборі ROI, алгоритмах попередньої обробки, програмному забезпеченні та наборі текстурних ознак) кількісний метааналіз не проводився. Результати узагальнювали описово. Аналіз показав, що найбільш часто досліджуваними параметрами були entropy, fractal dimension, GLCM-показники (contrast, homogeneity, correlation, ASM/energy) та GLRLM-параметри (SRE, LRE, GLN, RLN). Вони оцінювалися переважно за даними КПКТ та цифрової рентгенографії.

Характеристика включених досліджень

Більшість робіт була присвячена трьом клінічним напрямкам: прогнозуванню первинної стабільності денціальних імплантатів, оцінці ремоделювання альвеоляр-

Таблиця 1. Оцінка методологічної якості та ризику систематичної похибки включених клінічних досліджень щодо радіотекстурного аналізу кісткової тканини

Дослідження	Критерії включення	Протокол зображень	ROI	Передобробка	ICC	Зовнішня валідація	Вибірка	Фактори ризику	Статистика	Загальний ризик	Коментар
Kołaciński et al., 2015	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Добре стандартизована методика, але відсутня зовнішня валідація
Costa et al., 2021	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Якісний СВСТ-протокол, однак вибірка обмежена
Ardali et al., 2025	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Низький — помірний	Сучасна методологія, хороша стандартизація
Camargo et al., 2016	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний — високий	Фрактальний аналіз, обмежений контроль змішаних факторів
Sener et al., 2015	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Належний аналіз, але без зовнішньої перевірки
White & Rudolph, 1999	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Високий	Еталонна робота, але за сучасними критеріями має високий ризик похибки
Gonçalves et al., 2020	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Добре описана методика СВСТ
Abdulhameed et al., 2018	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Низький	Комплексний аналіз цифрових зображень
Sailasri et al., 2022	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Добра методика, але без незалежної валідації
Dundar et al., 2025	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	СВСТ-дослідження з достатньою статистикою
Yersel et al., 2025	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний — високий	Обмежена стандартизація та контроль конфаундерів
Kavitha et al., 2015	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний — високий	Невелика вибірка, відсутня зовнішня перевірка
Hayek et al., 2020	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Якісний аналіз GLCM/GLRLM
Yurtoglu et al., 2021	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Помірний	Добре стандартизоване micro-CT дослідження
Wach et al., 2026	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Низький — помірний	Сучасний 3D-підхід, пілотний характер

Примітки: ● — низький ризик систематичної похибки; ● — помірний ризик систематичної похибки; ● — високий ризик систематичної похибки.

ної кістки та діагностиці пародонтальних або остеопоротичних змін. У дослідженні використовували GLCM, GLRLM, гістограмний аналіз, фрактальну геометрію та їх комбінації з алгоритмами машинного навчання.

Основні закономірності:

- entropy була одним із найбільш інформативних показників: її зміни стабільно асоціювалися з процесами ремоделювання кістки, загоєння дефектів та стабільністю імплантатів;
- fractal dimension знижувалася при втраті складності трабекулярної архітектури та була перспективною для

- оцінки остеопоротичних змін, хоча між дослідженнями фіксувалася значна варіабельність;
- GLCM-показники (contrast, homogeneity, correlation, ASM) демонстрували найліпшу відтворюваність при оцінці мікроархітектури кістки. Підвищення contrast та зниження homogeneity зазвичай відповідали більшій структурній неоднорідності;
 - GLRLM-параметри (SRE, LRE, GLN, RLN) були особливо корисними для кількісної характеристики змін при пародонтиті та ремоделюванні альвеолярної кістки.

Методологічна якість

Оцінка ризику систематичної похибки показала переважання досліджень з помірним ризиком. Найчастішими обмеженнями були відсутність зовнішньої валідації, невеликі вибірки, нестандартизований вибір ROI та неоднорідність протоколів отримання зображень. Лише окремі сучасні роботи характеризувалися низьким або низько-помірним ризиком похибки.

Узагальнення результатів

Наявні докази свідчать, що текстурний аналіз є перспективним інструментом кількісної оцінки альвеолярної кісткової тканини. Найбільшу доказову базу мають entropy, fractal dimension та GLCM-параметри, які демонструють зв'язок із ремоделюванням кістки, її якістю та первинною стабільністю імплантів. Однак відсутність стандартизованих протоколів обробки зображень і неоднорідність дизайну досліджень поки що обмежують можливість широкого клінічного впровадження цих методів (табл. 2).

Обговорення

Результати проведеного систематичного огляду свідчать, що радіотекстурний аналіз є одним із перспективних напрямів кількісної оцінки мікроархітектури альвеолярної кістки. Незважаючи на значну методологічну неоднорідність включених досліджень, більшість авторів продемонстрували узгоджені результати щодо інформативності параметрів entropy, FD, GLCM та GLRLM при оцінці ремоделювання кісткової тканини, її структурної організації та прогнозуванні клінічних результатів імплантологічного лікування [1, 4–9, 39].

Найбільш послідовні результати були отримані для показника Entropy. Встановлено, що ентропія змінювалася відповідно до етапів репаративного остеогенезу після формування кісткового дефекту, що дозволило розглядати її як потенційний кількісний маркер ремоделювання кістки [1]. В іншому дослідженні встановлено, що нижчі значення entropy у періімплантатній ділянці асоціювалися з вищою первинною стабільністю імплантів [5]. Отже, обидві роботи підтверджують чутливість ентропії до структурних змін кісткової тканини, проте її клінічна інтерпретація залежить від досліджуваного процесу, зокрема динамічного загоєння дефекту, або передопераційної оцінки ділянки імплантації.

Водночас трактування entropy не може бути універсальним. В одному дослідженні зміни показника відображали часову перебудову кісткового регенерату [1], тоді як в іншому аналізувався його зв'язок із механічною стабільністю імплантату [5]. Розбіжності в напрямі та величині змін ентропії можуть бути зумовлені різними способами її розрахунку, типом зображення, локалізацією ROI, кількістю градацій сірого та етапом ремоделювання.

Тому entropy слід розглядати не як самостійний абсолютний показник «доброї» або «поганої» кістки, а як контекстно залежну характеристику складності й неоднорідності зображення.

Іншим широко досліджуваним параметром була фрактальна розмірність. В одному з ранніх досліджень продемонстровано зниження FD у пацієнтів із системним остеопорозом [9]. Також встановлено можливість диференціації трабекулярних змін у пацієнтів зі здоровим пародонтом і помірним пародонтитом [8]. В іншій роботі підтверджено зв'язок FD із морфометричними характеристиками щелепної кістки, однак не отримано переконливого зв'язку із системною мінеральною щільністю кісткової тканини [6].

Таким чином, результати окремих досліджень підтримують діагностичний потенціал FD [8, 9], тоді як інші дані вказують на обмежену придатність цього показника [6].

Більша варіабельність результатів FD порівняно з entropy, імовірно, пов'язана з методологічною чутливістю фрактального аналізу. На отримане значення впливають алгоритм box-counting, бінаризація, фільтрація, розмір і форма ROI, просторова роздільна здатність та проєкційні спотворення. Тому порівняння абсолютних значень FD між окремими дослідженнями без уніфікованого протоколу є некоректним, навіть якщо загальний напрям змін збігається.

Особливу увагу сучасні дослідження приділяють параметрам GLCM. Повідомлено про зв'язок Contrast із первинною стабільністю імплантів [5], тоді як в іншій роботі продемонстровано діагностичну інформативність комплексного використання contrast, entropy, correlation та ASM у поєднанні з GLRLM-ознаками й алгоритмами машинного навчання [4]. Ці результати узгоджуються в тому, що локальна неоднорідність і просторова організація пікселів містять клінічно значущу інформацію. Однак у дослідженні [4] використовували багатопараметричну модель для розпізнавання патоло-

Таблиця 2. Узагальнення основних результатів систематичного огляду

Напрямок	Основні параметри	Ключові результати
Дентальна імплантація та передімплантаційна підготовка	Entropy, contrast, correlation	Прогнозування первинної стабільності та оцінка якості кістки
Ремоделювання кістки, кісткова пластика	Entropy, FD	Кількісна оцінка процесів загоєння та перебудови кісткової тканини
Пародонтологія	GLCM, GLRLM	Диференціація здорової та патологічно зміненої кістки
Зміни кістки, пов'язані з метаболізмом	FD, Histogram	Виявлення змін трабекулярної структури та потенціал скринінгу

гічних змін, тоді як у дослідженні [5] оцінювали зв'язок окремих ознак із механічним показником стабільності. Це обмежує пряме порівняння величини діагностичного ефекту між роботами.

Подібна тенденція спостерігалася для GLRLM-параметрів. У дослідженнях [4, 39] показано, що SRE, LRE, GLN і RLN є чутливими до змін просторової організації трабекулярної мережі. Водночас ці параметри описують різні компоненти текстури: переважання коротких або довгих однорідних рядів, нерівномірність рівнів сірого та варіабельність довжин рядів. Тому їх клінічна інтерпретація має здійснюватися у взаємозв'язку, а не шляхом ізольованої оцінки одного показника.

Порівняння клінічних напрямів застосування показало, що найбільшу практичну цінність текстурний аналіз має в імплантології. Продemonстровано його потенціал для прогнозування первинної стабільності [5], а також застосування текстурного аналізу КПКТ для оцінки періімплантатної кістки [14]. Обидва дослідження підтримують можливість використання кількісних ознак як доповнення до традиційної оцінки якості кістки, проте їхні невеликі вибірки та пілотний характер не дозволяють визначити універсальні клінічні порогові значення.

У пародонтології результати досліджень [4, 8, 18] свідчать, що зміни трабекулярної текстури можуть допомагати відрізнити інтактну та патологічно змінену альвеолярну кістку. Перевагою підходу, поданого в дослідженні [4], є використання комплексу GLCM/GLRLM-ознак, тоді як у дослідженні [8] застосовували переважно FD.

Отже, багатопараметричні моделі потенційно краще враховують різні аспекти мікроархітектури, але водночас підвищують ризик перенавчання за умови малої вибірки та відсутності зовнішньої валідації.

Щодо скринінгу системного остеопорузу результати залишаються неоднозначними. Виявлено характерні зміни трабекулярного рисунка щелеп [9], а також продемонстровано перспективність поєднання текстурних, фрактальних і хвильових ознак для автоматизованої класифікації [2]. Натомість в іншому дослідженні не підтверджено стабільного зв'язку FD із BMD [6]. Також показано потенціал GLCM і GLRLM для виявлення остеопоротичних змін [39]. Сукупно ці дані свідчать, що багатопараметричний аналіз може бути інформативнішим за використання лише FD, однак текстурний аналіз стоматологічних зображень поки не може замінити DXA.

Аналіз методологічної якості пояснює значну частину неоднорідності результатів. Для більшості робіт були характерними невеликі вибірки, відсутність зовнішньої валідації, різні параметри отримання зображень, нестандартизований вибір ROI та використання різного програмного забезпечення. Крім того, однойменні параметри могли розраховуватися за різними математичними алгоритмами. Тому суперечності між результатами окремих досліджень не обов'язково відображають різні біологічні закономірності; часто вони є наслідком технічних і аналітичних відмінностей.

Загалом найбільшу доказову підтримку мають entropy, FD та GLCM-показники, однак жоден із них не може розглядатися як самодостатній клінічний маркер. Перспективним є використання комбінованих панелей текстурних ознак із подальшою зовнішньою валідацією. Для переходу від дослідницького застосування до клінічної практики необхідні стандартизовані протоколи отримання зображень, уніфіковані правила формування ROI, фіксовані параметри квантування, оцінка внутрішньо- та міждослідницької відтворюваності, проспективний дизайн і багатоцентрові вибірки.

Отже, радіотекстурний аналіз слід розглядати як додатковий, а не альтернативний метод оцінки альвеолярної кістки. Його основна перевага полягає в можливості кількісно характеризувати структурні властивості, які не відображаються повною мірою традиційними морфометричними показниками. Водночас відсутність загальноприйнятих порогових значень і стандартизованої методології поки що обмежує його рутинне застосування.

Обмеження дослідження

Цей систематичний огляд має низку обмежень, які необхідно враховувати під час інтерпретації отриманих результатів. Насамперед включені дослідження характеризувалися значною клінічною та методологічною гетерогенністю. Автори використовували різні методи візуалізації, зокрема внутрішньоротову та панорамну цифрову рентгенографію, конусно-променеву комп'ютерну томографію, а в окремих роботах — мікро-КТ або комбіновані підходи. Відмінності у просторовій роздільній здатності, розмірі вокселя, параметрах експозиції, реконструкційних алгоритмах і характеристиках обладнання могли істотно впливати на значення текстурних ознак та обмежували пряме порівняння результатів між дослідженнями.

Важливим джерелом варіабельності була відсутність уніфікованого підходу до визначення ділянки інтересу. У різних роботах ROI відрізнялися за формою, розміром, анатомічною локалізацією та принципами виключення кортикальної кістки, коренів зубів, судинних каналів і зон з артефактами. Частина авторів використовувала двовимірні прямокутні ROI, тоді як інші аналізували тривимірні об'єми. Через це навіть однакові параметри, зокрема entropy, contrast або fractal dimension, могли відображати не повністю зіставні структурні характеристики.

Додатковим обмеженням була неоднорідність алгоритмів попередньої обробки зображень. У включених роботах застосовували різні способи нормалізації інтенсивності, фільтрації шуму, бінаризації, квантування рівнів сірого та обчислення матриць GLCM і GLRLM. Не в усіх публікаціях детально повідомляли параметри зміщення, напрямки аналізу, кількість градацій сірого або використані програмні реалізації. Внаслідок цього однаково названі текстурні показники могли бути розраховані за відмінними алгоритмами, що знижує їх міждослідницьку відтворюваність.

Отже, подані висновки слід розглядати як узагальнення перспективного, але ще недостатньо стандартизованого напрямку. Наявні дані підтверджують потенціал

радіотекстурного аналізу, однак не дають підстав використовувати окремі параметри як самостійні клінічні діагностичні або прогностичні критерії без урахування традиційної рентгенологічної, морфометричної та клінічної оцінки.

Висновки

Результати систематичного огляду підтверджують, що радіотекстурний аналіз є перспективним методом кількісної оцінки структурної організації альвеолярної кісткової тканини. На відміну від звичайної візуальної інтерпретації рентгенологічних зображень, він дає змогу об'єктивізувати неоднорідність, впорядкованість, складність і просторовий розподіл трабекулярної структури.

Найбільш дослідженими та потенційно клінічно значущими параметрами є entropy, fractal dimension і характеристики, отримані з матриць GLCM та GLRLM. Entropy відображає ступінь складності й хаотичності текстури та демонструє зв'язок із ремоделюванням кістки і первинною стабільністю імплантатів. Fractal dimension може характеризувати втрату складності трабекулярної мережі, однак її відтворюваність суттєво залежить від методики обробки. GLCM-показники contrast, homogeneity, correlation та ASM, а також GLRLM-параметри SRE, LRE, GLN і RLN забезпечують комплексну кількісну характеристику локальної та просторової неоднорідності кісткової тканини.

Найбільший практичний потенціал текстурний аналіз демонструє в імплантології для передопераційної оцінки якості кістки та прогнозування первинної стабільності імплантатів, у пародонтології — для диференціації інтактною та патологічно зміненою альвеолярної кістки, а також у скринінговій оцінці остеопенічних і остеопоротичних змін. Водночас наявні докази поки що не дозволяють визначити універсальні порогові значення текстурних параметрів або рекомендувати їх як самостійні діагностичні критерії.

Основними умовами подальшого клінічного впровадження є стандартизація протоколів отримання зображень, уніфікація попередньої обробки та вибору ROI, чітке повідомлення параметрів розрахунку текстурних ознак, перевірка відтворюваності вимірювань і проведення багатоцентрових проспективних досліджень із незалежною зовнішньою валідацією.

Таким чином, радіотекстурний аналіз слід розглядати не як альтернативу КПКТ або традиційній рентгенологічній оцінці, а як додатковий кількісний інструмент, здатний підвищити об'єктивність і персоналізацію оцінки альвеолярної кістки. За умови методологічної стандартизації та підтвердження клінічної валідності його інтеграція з морфометричними, клінічними та у перспективі біологічними показниками може поліпшити прогнозування результатів дентальної імплантації та регенеративних втручань.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом НДР кафедри щелепно-лицевої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця «Розробка нових методів хірургічного лікування дефектів та деформацій щелепно-лицевої ділянки з використанням автоматизованих алгоритмів інтраопераційної навігації та комп'ютерного моделювання пацієнт-специфічних імплантатів з покращеними біомеханічними властивостями», № 0122U001339. Автор є співвиконавцем вказаної теми.

Внесок авторів. Буднікова А.В. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Шпачинський О.С. — аналіз даних, написання тексту; Копчак А.В. — збір матеріалів і аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

1. Kołaciński M, Kozakiewicz M, Materka A. Textural entropy as a potential feature for quantitative assessment of jaw bone healing process. *Arch Med Sci.* 2015;11(1):78–84.
2. Zheng K, Makrogiannis S. Bone texture characterization for osteoporosis diagnosis using digital radiography. In: *Proc. 38th IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)* 2016. P. 1034–1037.
3. Colaco LSL, Chhaparwal Y, Patil V, et al. Decoding dental images: a comprehensive review of fractal analysis. *BDJ Open.* 2025;11:74.
4. Borowska M, Antonowicz B, Magnuszewska E, Woźniak Ł, Łukaszuk K, Borys J. Texture components of the radiographic image assist in the detection of periapical periodontitis. *Appl Sci.* 2025;15(19):10521.
5. Costa ALF, de Souza Carreira B, Fardim KAC, Nussi AD, da Silva Lima VC, Miguel MMV, et al. Texture analysis of cone beam computed tomography images reveals dental implant stability. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021;50(12):1609–1616.
6. Camargo AJ, Côrtes ARG, Aoki EM, Baladi MG, Arita ES, Watanabe PCA. Analysis of bone quality on panoramic radiograph in osteoporosis research by fractal dimension. *Appl Math.* 2016;7(4):375–386.
7. Wach T, Kozakiewicz M, Michcik A, et al. Three-dimensional analysis of facial skeleton textures in CBCT as an early warning sign of osteoporosis — A pilot study. *Diagnostics (Basel).* 2026;16(8):1217.
8. Sener E, Cinarcik S, Baksi BG. Use of fractal analysis for the discrimination of trabecular changes between individuals with healthy gingiva or moderate periodontitis. *J Periodontol.* 2015;86(12):1364–1369.
9. White SC, Rudolph DJ. Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(5):628–635.
10. Kato CNAO, Barra SG, Tavares NPK, Amaral TMP, Brasileiro CB, Mesquita RA, et al. Use of fractal analysis in dental images: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020;49(2):20180457.
11. Haralick RM, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Trans Syst Man Cybern.* 1973;SMC-3(6):610–621.
12. Galloway MM. Texture analysis using gray level run lengths. *Computer Graphics Image Process.* 1975;4(2):172–179.
13. Kış HC, Güleriyüz Gürbulak A. Evaluation of the peri-implant bone trabecular microstructure changes in short implants with fractal analysis. *Int J Implant Dent.* 2020;6(1):13.

14. Gonçalves BC, de Araújo EC, Nussi AD, Bechara N, Sarmiento D, Oliveira MS, et al. Texture analysis of cone-beam computed tomography images assists the detection of furcal lesion. *J Periodontol.* 2020;91(9):1159-1166.
15. Keles M, Yuksel IB. Fractal analysis of bone architecture changes following transcresal sinus lifting with simultaneous implant placement. *BMC Oral Health.* 2026;26(1):1425.
16. Zeytinoglu M, İlhan B, Dünder N, Boyacioğlu H. Fractal analysis for the assessment of trabecular peri-implant alveolar bone using panoramic radiographs. *Clin Oral Investig.* 2015;19(2):519-524.
17. Sailasri K, Ganji SGMD, Satwalekar P, Nalla S, Basany RB, Krishna SS. Reliability of using texture analysis of periapical radiographs obtained using radiovisiography for assessing bone quality in dental implant planning: a cross-sectional study. *Cureus.* 2022;14(12):e32860.
18. Abdulhameed EA, Al-Rawi NH, Uthman AT, Samsudin AR. Bone texture fractal dimension analysis of ultrasound-treated bone around implant site: a double-blind clinical trial. *Int J Dent.* 2018;2018:2672659.
19. Khaddour AS, Popescu SM, Ionescu M, Sălan AI, Ghiță RE, Cojocaru MO, et al. Post-extraction bone changes in molars within personalized implant-prosthetic therapy as evaluated with fractal analysis of CBCT. *J Pers Med.* 2025;15(4):154.
20. Torul D, Yilmaz MF, Erzurumlu ZU, Omezli MM. Evaluation of changes in peri-implant bone architecture at different stages of implant treatment with fractal analysis. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2025;126(6S):102508.
21. Özen O, Toy VE, Özen DÇ. Evaluation of trabecular bone structure using fractal analysis in patients with peri-implant health and disease. *BMC Oral Health.* 2026;26(1):1324.
22. Radu A, Ionescu M, Khaddour AS, Munteanu CM, Iacov Crățoiu MM, Cojocaru MO, et al. Comparative fractal analysis on orthopantomography images of bone remodeling changes at 3 months between natural socket healing and immediate implant placement. *Diagnostics (Basel).* 2026;16(1):96.
23. Rahimi A, Afshari Z. Periodontitis and cardiovascular disease: a literature review. *ARYA Atheroscler.* 2021;17:1.
24. Chapple IL, Hirschfeld J, Cockwell P, et al. Interplay between periodontitis and chronic kidney disease. *Nat Rev Nephrol.* 2025;21:226-240.
25. Araújo VM, Melo IM, Lima V. Relationship between periodontitis and rheumatoid arthritis: review of the literature. *Mediat Inflamm.* 2015;2015:259074.
26. Ørstavik D, editor. *Essential Endodontology: Prevention and Treatment of Apical Periodontitis.* 3rd ed. Hoboken (NJ): Wiley-Blackwell; 2020.
27. Papapanou PN, et al. *Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions.* *J Clin Periodontol.* 2018;45 Suppl 20:S162-S170.
28. Kulczyk T, Czajka-Jakubowska A, Przysańska A. A comparison between the implant stability quotient and the fractal dimension of alveolar bone at the implant site. *Biomed Res Int.* 2018;2018:4357627.
29. Urcan SR, Kuran A, Ankaralı DA, Seki U, Coşkunses FM, Tokuc B. Evaluation of the relationship between intake of proton pump inhibitors and peri-implant bone microstructure by using fractal analysis: a retrospective case-control study. *Clin Oral Implants Res.* 2025;36(12):1586-1594.
30. Mu TJ, Lee DW, Park KH, Moon IS. Changes in the fractal dimension of peri-implant trabecular bone after loading: a retrospective study. *J Periodontal Implant Sci.* 2013;43(5):209-214.
31. Şimşek MS, Alan H, Dedeoğlu N. A fractal evaluation study of implant-supported overdentures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2025;140(3):264-270.
32. Özgür F, Korkmaz MZ, Bostan SA, Köse TE. Investigation of the effects of two- and three-implant supported overdenture prostheses on peri-implant bone and mandibular trabecular bone using fractal analysis and radiomorphometric methods on panoramic radiographs. *BMC Oral Health.* 2026;26(1):1257.
33. Dunder N, Aslan E, Mutlu O. Fractal dimension, lacunarity, and bone area fraction analysis of peri-implant trabecular bone after prosthodontic loading. *Oral Radiol.* 2025;41(1):120-130. doi: 10.1007/s11282-024-00784-0.
34. Yersel G, Tekce N. Periapical and panoramic radiographs yield non-comparable quantitative texture metrics despite physical ROI standardization: a paired clinical study. *J Imaging Inform Med.* 2026 Jul 16.
35. Kavitha MS, An SY, An CH, Huh KH, Yi WJ, Heo MS, et al. Texture analysis of mandibular cortical bone on digital dental panoramic radiographs for the diagnosis of osteoporosis in Korean women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015;119(3):346-356.
36. Veltri M, Ferrari M, Balleri P. Correlation of radiographic fractal analysis with implant insertion torque in a rabbit trabecular bone model. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26(1):108-114.
37. Brennan RM, Genco RJ, Hovey KM, Trevisan M, Wactawski-Wende J. Clinical attachment loss, systemic bone density, and subgingival calculus in postmenopausal women. *J Periodontol.* 2007;78(11):2104-2111. doi: 10.1902/jop.2007.070155.
38. Yurtoglu N, Tozum TF, Uysal S. Evaluation of peri-implant bone changes with fractal analysis. *J Clin Med.* 2025;14(11):3820.
39. Hayek E, Aoun G, Geha H, Nasseh I. Image-based bone density classification using fractal dimensions and histological analysis of implant recipient site. *Acta Inform Med.* 2020;28(4):272-277.

Отримано/Received 14.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026

Information about authors

Alina Budnikova, PhD student, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: alinabudnikovaa@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-6092-9325>
 Oleksandr Shpachynskyi, PhD in Medicine, Assistant, Department of Oral Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: spachiusky1992@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5627-1841>

Andrii Kopchak, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Maxillofacial Surgery, Director of the Institute of Dentistry, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kopchak@ua.fm; <https://orcid.org/0000-0002-3272-4658>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The article is a fragment of the research project of the Department of Maxillofacial Surgery of the O.O. Bogomolets National Medical University "Development of new methods of surgical treatment of defects and deformations of the maxillofacial area using automated algorithms of intraoperative navigation and computer modeling of patient-specific implants with improved biomechanical properties" № 0122U001339. The author is a co-executor of the specified topic.

Authors' contribution. A.V. Budnikova — collection and processing of materials, writing text; O.S. Shpachynskyi — data analysis, text writing; A.V. Kopchak — collection of materials and data analysis, concept and design of the article, text editing.

A.V. Budnikova, O.S. Shpachynskyi, A.V. Kopchak
Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Comprehensive assessment of alveolar bone using texture biomarkers: a systematic review

Abstract. Background. Alveolar bone quality is a key determinant of successful dental implant therapy, bone grafting and reconstructive procedures. Conventional assessment using cone beam computed tomography and digital radiography does not always reflect the microarchitecture of trabecular bone. Radiotexture analysis enables quantitative assessment of bone structure beyond conventional diagnostic methods. Objective: to systematize current clinical evidence regarding the use of alveolar bone images, determine the diagnostic and prognostic value of texture features, and to analyze the methodological quality of studies. **Materials and methods.** A PRISMA-based systematic review was performed using PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar. The analysis included clinical studies that used texture analysis of cone beam computed tomography or digital radiography data. Methodological quality was assessed with the JBI Critical Appraisal Checklist. Meta-analysis was not performed because of substantial

heterogeneity. **Results.** Fifteen clinical studies were included in the qualitative synthesis. Entropy, fractal dimension, gray-level co-occurrence matrix (GLCM) and gray-level run length matrix (GLRLM) were the main investigated parameters. These indicators showed potential for evaluating bone microarchitecture, remodeling, predicting primary implant stability and identifying periodontal and osteoporotic changes. The main limitations were heterogeneity of protocols, regions of interest, processing algorithms, and lack of external validation. **Conclusions.** Radiotexture analysis represents a promising adjunctive tool for quantitative alveolar bone assessment; however, its widespread clinical application requires standardization of methodology and multicenter prospective studies.

Keywords: radiotexture analysis; alveolar bone; cone beam computed tomography; texture analysis; dental implant therapy; GLCM; GLRLM; fractal dimension

Свирида О.С.¹, Свирида Е.О.², Стебловський Д.В.¹,
Торопов О.А.¹, Яценко П.І.¹, Аветіков Д.С.¹

¹ Полтавський державний медичний університет, м. Полтава, Україна

² Медичний лікувально-діагностичний центр «Медіон», м. Полтава, Україна

Вплив математичного обґрунтування оперативного доступу при остеосинтезі на клінічний перебіг перелому нижньої щелепи

Резюме. Актуальність. Емпіричне проектування дизайну розрізу при проведенні інтраорального остеосинтезу досить часто спричиняє ятрогенні пошкодження слизово-окісного клаптя під час його підйому та мобілізації та ініціює локальну ішемію з можливістю подальшого утворення крайового некрозу м'яких тканин.

Мета: підвищення ефективності хірургічного лікування та якості функціональної реабілітації пацієнтів із невогнепальними переломами нижньої щелепи шляхом математичного планування оперативного доступу для інтраорального остеосинтезу. **Матеріали та методи.** Проведений аналіз клінічних показників у пацієнтів, прооперованих за стандартною та авторською методиками. **Результати.** На першу добу післяопераційного періоду динаміка набряку м'яких тканин свідчить про гостре реактивне запалення в обох клінічних групах, але з мінімальною розбіжністю до мінімуму в першій групі. Це підкреслює наявність початкової ексудації у відповідь на первинну травму та проведення ятрогенних маніпуляцій щодо репозиції кісткових фрагментів. Протягом 3-ї та 5-ї діб спостерігалися відмінності цього показника, з маргінально високими його значеннями у другій клінічній групі, що свідчить про тривале існування інфільтрату, пов'язане з ятрогенним порушенням архітекτονіки судинної сітки та розвитком венозного стазу. **Висновки.** Використання математично обґрунтованого складання плану оперативного втручання з урахуванням біомеханічних параметрів щодо дизайну розрізу з подальшим відшаруванням слизово-окісного клаптя для створення оптимального оперативного доступу, інтраопераційним застосуванням PRF- та PRP-технологій призводить до зниження рівня набряку м'яких тканин та больового синдрому, особливо на 5-ту добу післяопераційного періоду.

Ключові слова: металоостеосинтез; перелом; нижня щелепа; внутрішньоротовий доступ

Вступ

Травми щелепно-лицевої локалізації, серед яких домінують роль відводиться переломам нижньої щелепи, на сьогодні продовжують займати провідне місце у структурі щелепно-лицевої хірургії [1, 2]. Методи лікування варіювалися від консервативних заходів до сучасних концепцій відкритої репозиції та внутрішньої фіксації [3, 4]. Золотим стандартом хірургічного лікування цієї категорії пацієнтів залишається проведення металоостеосинтезу (МОС) з репозицією та фіксацією кісткових фрагментів титановими міні-пластинами [5].

Найбільш поширеним є класичний інтраоральний доступ, який зумовлює відсутність зовнішніх рубців шкіри та створює безпосередній прямий шлях до ділянки перелому. Але певне інтуїтивне та емпіричне проектування дизайну розрізу досить часто спричиняє ятрогенні пошкодження слизово-окісного клаптя під час його підйому та мобілізації та ініціює локальну ішемію з можливістю подальшого утворення крайового некрозу м'яких тканин [6, 7].

Сьогодні в хірургічній стоматології та щелепно-лицевій хірургії спостерігається перехід від емпіричного планування та проведення оперативних втручань до

розроблення й практичного застосування цілеспрямованих біомеханічних алгоритмів і математичних моделей. Згідно з ретроспективним аналізом даних, слід відзначити, що лише за суб'єктивним досвідом лікаря-хірурга визначалась геометрія та дизайн розрізу, довжина створеного оперативного доступу та відшарування оточуючих тканин при проведенні інтраорального МОС. Прагнення забезпечити повну візуалізацію операційного поля шляхом виконання розрізів надмірної довжини у більшості випадків спричиняє надмірну хірургічну травму, що додатково супроводжується порушенням анатомо-біологічної цілісності мікроциркуляторного русла та збільшенням площі змінених через рубцювання тканин у післяопераційному періоді. Не менші проблеми, особливо щодо кінематики хірургічного інструментарію, можуть бути створені при проведенні занадто малих розрізів, що провокує хірурга та асистента до застосування надмірних сил під час репозиції кісткових відламків та ретракції країв рани і може призвести до перевищення меж пластичної деформації оточуючих м'яких тканин [8, 9].

Мета: підвищення ефективності хірургічного лікування та якості функціональної реабілітації пацієнтів з невогнепальними переломами нижньої щелепи шляхом математичного планування оперативного доступу для інтраорального остеосинтезу.

Матеріали та методи

У дослідженні взяли участь 60 пацієнтів з рентгенологічно підтвердженим діагнозом невогнепального перелому нижньої щелепи, які перебували на стаціонарному лікуванні у відділенні щелепно-лицевої хірургії КП «Полтавська обласна клінічна лікарня ім. М.В. Скліфосовського» ПОР. Усім пацієнтам було показано проведення репозицій та фіксацій кісткових фрагментів шляхом інтраорального МОС. За гендерною ознакою пацієнтів було розподілено таким чином: 34 чоловіки та 26 жінок віком від 30 до 45 років.

Залежно від застосованого протоколу лікування пацієнти були поділені на дві клінічні групи:

— перша (основна) група — 30 осіб. Оперативні втручання проводили за розробленим нами протоколом, який передбачав математичне планування оперативного доступу з урахуванням показника форми голови, формування розробленого дизайну слизово-окісного клаптя із послаблювальними розрізами, застосування періодів тканинної релаксації, інтраопераційне введення в рану PRF-згустка в комбінації з ліофілізованою мембраною та ін'єкційне введення PRP у післяопераційному періоді;

— друга (контрольна) група — 30 осіб. Оперативні втручання проводились за стандартним протоколом з надання хірургічної стоматологічної допомоги при переломах нижньої щелепи, що передбачає проведення стандартного оперативного доступу та фіксацію титановою мініпластиною без додаткового застосування технологій спрямованої тканинної регенерації.

Критеріями включення пацієнтів у дослідження були: наявність щілини перелому в ділянці фронтального відділу, тіла або кута нижньої щелепи; добровільна

згода на участь у дослідженні, проведення оперативного втручання, післяопераційного клінічного та ультразвукового моніторингу.

Критеріями виключення пацієнтів із дослідження були: вогнепальні переломи нижньої щелепи; переломи виросткового відростка нижньої щелепи; наявність тяжких супутніх захворювань у стадії декомпенсації; відмова пацієнта від участі в дослідженні або неможливість проведення клінічного та функціонального контрольного моніторингу на всіх запланованих етапах післяопераційного періоду.

Оцінку клінічних показників проводили за бальною шкалою на 1-шу, 3-тю, 5-ту, 7-му, 10-ту та 30-ту доби після проведення оперативного втручання.

Набряк м'яких тканин оцінювали таким чином: 0 — відсутність набряку, конфігурація обличчя повністю симетрична; 1 — легкий, візуально малопомітний набряк лише в зоні оперативного втручання; 2 — помірний набряк у межах однієї анатомічної ділянки; 3 — виражений набряк, що поширюється на сусідню ділянку, помітна асиметрія обличчя; 4 — напружений набряк із переходом на підщелепну або щічну ділянку, колір шкіри не змінений; 5 — щільний набряк, поява гіперемії шкіри над зоною втручання; 6 — ознаки флюктуації, різке поширення набряку.

Больовий синдром оцінювався за такою шкалою: 0 — повна відсутність болю; 1 — легкий дискомфорт при жуванні або миміці; 2 — помірний біль, що виникає при рухах щелепою; 4 — помірний біль у спокої, потребує регулярного прийому нестероїдних протизапальних засобів; 5 — виражений біль, який лише частково купірується стандартними анальгетиками; 6 — сильний біль, що іррадіює у вухо/скроню, порушує сон.

Результати

Післяопераційний набряк м'яких тканин, зокрема при проведенні МОС, є досить складним багатоетапним процесом, який безпосередньо корелює з пошкодженням кровоносних та лімфатичних судин, особливо під час відшарування слизово-окісних клаптів. З іншого боку, слід звернути увагу на безпосередню дію прозапальних цитокінів, що може призвести до гострого парезу прекапілярних сфінктерів. Тому ступінь збереженості та морфофункціональний стан поверхневої та глибокої системи артеріоло-венулярних анастомозів, яка візуалізується за площею та об'ємом набряку та його тривалістю, на нашу думку, є індикатором ефективності проведеного оперативного втручання.

На 1-шу добу післяопераційного періоду візуалізовано гострий реактивний запальний процес у стадії маніфестації. В 1-й клінічній групі середнє значення досліджуваного показника становило $3,70 \pm 0,14$ бала, що було візуалізовано як у вигляді вираженого набряку м'яких тканин у зоні оперативного втручання, так і асиметрії обличчя з поширенням на сусідні топографоанатомічні ділянки (рис. 1).

Слід зауважити, що у 2-й клінічній групі цей показник становив $3,83 \pm 0,14$ бала (рис. 2), але статистичної вірогідності на цьому етапі спостереження не було виявлено ($p > 0,05$). На нашу думку, це свідчить про вплив

отриманої травми (перелом нижньої щелепи), а також мануальної репозиції кісткових фрагментів на наявність раннього операційного екссудату.

Статистично значущі зміни було виявлено на 3-ю добу післяопераційного періоду. На відміну від 1-ї, у пацієнтів 2-ї групи зафіксовано різке підвищення даного показника, максимальне значення якого дорівнювало $4,73 \pm 0,08$ бала, що візуалізується у вигляді щільного інфільтрату, іноді з переходом у підщелепну ділянку. У 1-й клінічній групі даний показник вірогідно зафіксований у межах $4,40 \pm 0,11$ бала ($p \leq 0,05$), що, на нашу думку, пов'язано з початком вивільнення активних речовин фібринового згустка, особливо фактора росту ендотелію судин, який сприяв стабілізації ендотеліального фенестрування навіть на 3-тю добу післяопераційного періоду, а його сітка виконувала роль механічного бар'єра.

Суттєві розбіжності ми виявили на 5-ту добу післяопераційного періоду. У пацієнтів 1-ї клінічної групи показник набряку вірогідно зменшувався в середньому до $3,23 \pm 0,11$ бала, що клінічно візуалізувалося наявністю чітко локалізованого в межах однієї ділянки, помірно напруженого інфільтрату. У 2-й клінічній групі цей показник зафіксований на високому рівні, а саме $4,30 \pm 0,13$ бала, що, на нашу думку, пов'язано з ятрогенним порушенням анатомо-біологічної цілісності артерій і венул при проведенні класичного розрізу та відшарування слизово-окісного клаптя без врахування його біомеханічних особливостей. На 5-ту добу зафіксовано хронічний стаз венозних судин ($p < 0,001$). На нашу думку, таку розбіжність у показниках обох груп на 5-ту добу можна пояснити активним вивільненням VEGF із фібринового згустка, переважно з тромбоцитарних концентратів, що сприяє стимуляції лімфогенезу.

Тенденція позитивної динаміки даного показника в 1-й клінічній групі продовжилась і на 7-му добу післяопераційного періоду, на яку середній показник дорівнював $1,70 \pm 0,10$ проти $2,27 \pm 0,13$ бала у 2-й клінічній групі при $p \leq 0,01$, що при огляді виглядало як малопомітна припухлість. На 10-ту добу після прове-

дення МОС у пацієнтів обох клінічних груп набряк візуалізувався у вигляді легкої пастозності, але з різними середніми величинами даного показника: $1,30 \pm 0,09$ та $1,43 \pm 0,11$ відповідно для 1-ї та 2-ї клінічних груп при $p > 0,05$. На 30-ту добу суттєвих змін не зафіксовано із урахуванням тенденції зниження до фізіологічної норми і середніми показниками $0,40 \pm 0,10$ у 1-й клінічній групі та $0,43 \pm 0,12$ у 2-й групі відповідно.

Результатом будь-якого оперативного втручання може бути ацидоз тканин, а післяопераційний біль є предиктором його виникнення. Також даний показник є ключовим індикатором якості життя пацієнта як в найближчому, так і у віддаленому післяопераційному періоді. На 1-шу добу післяопераційного періоду даний показник був виражений в обох клінічних групах, що вимагало додаткової аналгезії, у 1-й клінічній групі показник болю становив $4,50 \pm 0,10$ бала проти $4,47 \pm 0,10$ бала у 2-й групі ($p > 0,05$). На нашу думку, це пов'язано з максимальним подразненням больових рецепторів, оскільки усі тканини періодонта на 1-шу добу перебувають на стадії гострого гіпоксичного стресу.

Встановлено, що на 3-тю добу цифрові дані показника суттєво не змінилися і дорівнювали $4,40 \pm 0,09$ та $4,47 \pm 0,10$ бала відповідно у 1-ї та 2-ї клінічних групах. Слід відзначити, що у 73,3 % випадків у 1-ї та 83,3 % випадків у 2-й клінічній групі пацієнти скаржились на наявність болю у спокої з відсутністю оптимального фізіологічного сну, що спонукало до прийому додаткових протизапальних та аналгезуючих засобів (рис. 3).

Основні відмінності в динаміці даного показника отримано на 5-ту добу післяопераційного періоду: в 1-й клінічній групі він вірогідно знизився до $3,33 \pm 0,10$ бала, на відміну від 2-ї групи — $3,80 \pm 0,14$ бала ($p \leq 0,05$). При опитуванні пацієнтів змінився і характер скарг: у 1-й групі біль у стадії спокою турбував пацієнтів у 11,0 % випадків; в інших випадках він виникав лише після артикуляційних та мімічних рухів, на відміну від 2-ї групи, у якій біль у стадії спокою спостерігався у 22,7 % випадків. На нашу думку, це досягається не лише завдяки малоінвазивному ятрогенному втручання, а

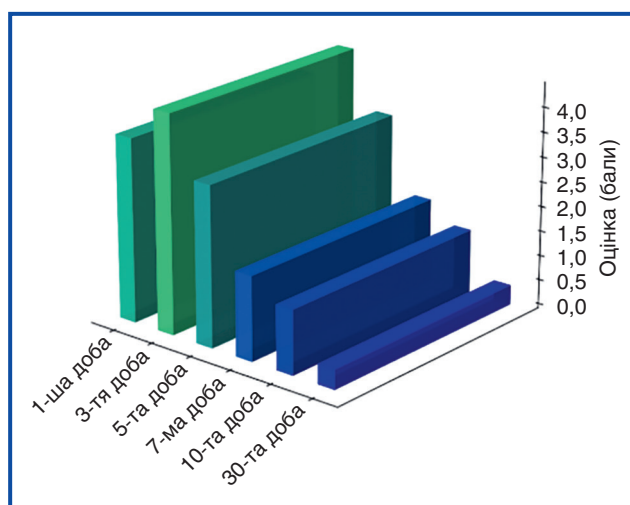


Рисунок 1. Динаміка набряку м'яких тканин в 1-й клінічній групі в різні строки післяопераційного періоду

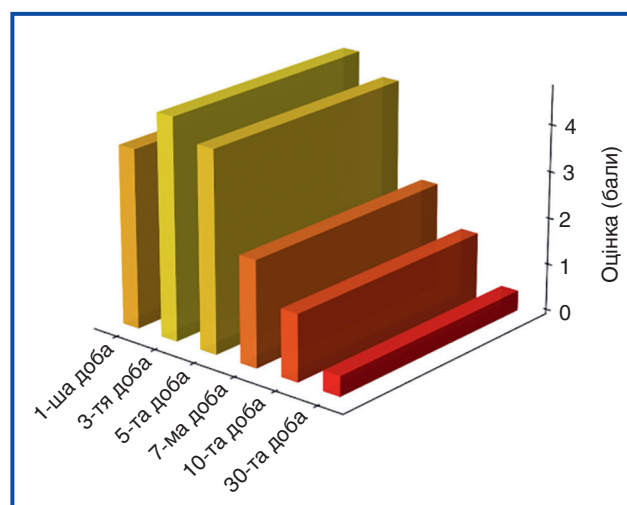


Рисунок 2. Динаміка набряку м'яких тканин у 2-й клінічній групі в різні строки післяопераційного періоду

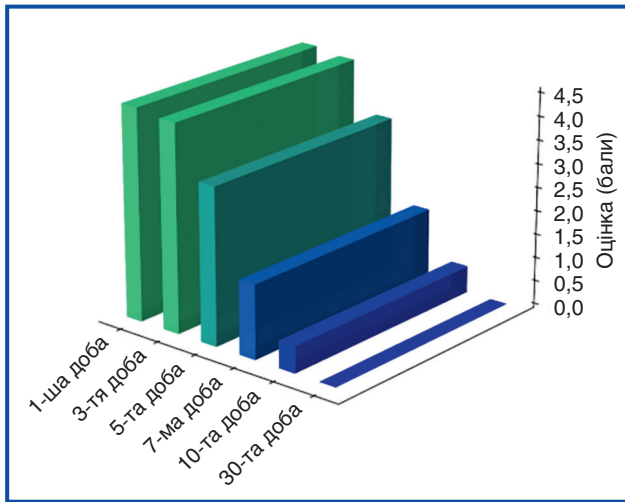


Рисунок 3. Динаміка показника болю в 1-й клінічній групі в різні строки післяопераційного періоду

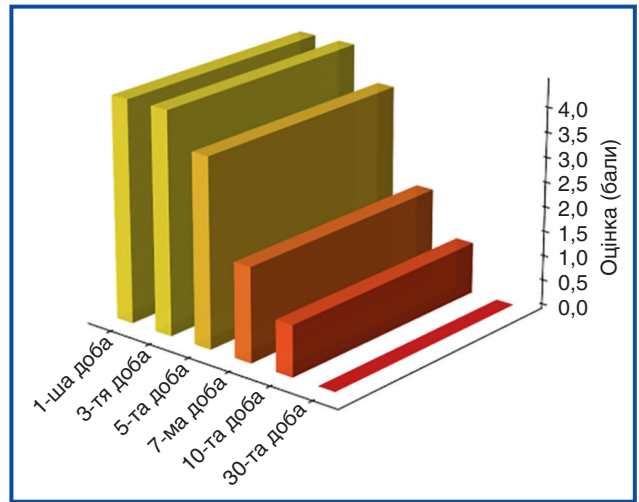


Рисунок 4. Динаміка показника болю в 2-й клінічній групі в різні строки післяопераційного періоду

й через локалізовану дію PRF-згустка з урахуванням його протизапальної та нейропротекторної функції, що дозволяє ізолювати нервові закінчення на краях операційної рани з поступовим зниженням концентрації простагландинів у даній ділянці (рис. 4).

На 7-му добу післяопераційного періоду в 90,0 та 83,3 % випадків відповідно у 1-й та 2-й групах пацієнтів відміняли прийом анагезуючих препаратів, але даний показник у 2-й групі був вірогідно вищим на $0,33 \pm 0,08$ бала, що, на нашу думку, можливо, пов'язано з більш тривалим та біомеханічно вищим натягом відшарованих слизово-окісних клаптів під час оперативного втручання та наявністю можливого резидуального запалення.

На 10-ту добу спостерігалася аналогічна картина; зафіксовано вірогідну різницю між показниками 1-ї та 2-ї клінічних груп — $0,57 \pm 0,09$ та $1,03 \pm 0,14$ бала відповідно ($p \leq 0,01$). Також слід зазначити, що в 1-й клінічній групі у 96,7 % випадків спостерігався абсолютний комфорт у стані спокою, тоді як у 2-й клінічній групі аналогічний стан відзначали у 83,3 % випадків; больові відчуття в місці оперативного втручання виникали після певного функціонального навантаження. На 30-ту добу зафіксовано нульові показники в обох клінічних групах, що свідчить про відсутність больових відчуттів та адаптацію оточуючих тканин до наявної титанової конструкції.

Обговорення

За умов застосування стандартних підходів до проведення МОС здебільшого ігнорується складна архітектура м'якотканинного компонента, що є предиктором розвитку функціональних порушень мікроциркуляції в слизово-окісних клаптях після їх відшарування з подальшим можливим розвитком місцевої гіпоксії з уповільненням процесів регенерації [6, 10, 11].

При аналізі набряку м'яких тканин ми враховували, що саме він є показником системної запальної реакції та ступеня руйнування судин. Слід зауважити, що парез прекапілярних сфінктерів виникає внаслідок маргінально високої секреції медіаторів запалення, а зростання

осмотичного капілярного тиску з ексудацією плазми в інтерстиціальний простір є наслідком цього процесу, який слід мінімізувати. Відзначено, що в першу добу післяопераційного періоду динаміка цього показника свідчила про гостре реактивне запалення в обох клінічних групах, із мінімальною різницею між ними та дещо нижчим показником у 1-й групі. Це підкреслює наявність початкової ексудації у відповідь на первинну травму та проведення ятрогенних маніпуляцій щодо репозиції кісткових фрагментів [12–15].

Протягом 3-ї та 5-ї діб спостерігалися переважно розбіжності даного показника з маргінально високими його значеннями в другій клінічній групі, що свідчить про тривале існування інфільтрату, пов'язане з ятрогеним порушенням архітектури судинної сітки та розвитком венозного стазу. Також слід відзначити, що за умов застосування стандартного протоколу персистенція ексудату може скомпрометувати місцеву мікроциркуляцію, що є можливим предиктором приєднання вторинної інфекції [16, 17].

Вірогідне зменшення даного показника у контрольній групі було зареєстровано вже на 5-ту добу, що, на нашу думку, пов'язано з інтраопераційним використанням фібринового згустка, оскільки він не тільки виконує функцію механічного бар'єра для ізоляції титанової конструкції, а й блокує утворення гематоми в післяопераційному періоді, а також виступає у ролі депо секреції судинного ендотеліального фактора росту, тромбоцитарного фактора росту, інсуліноподібного фактора росту-1, трансформуючого фактора росту β . Саме від цих біологічно активних речовин залежать процеси неангіо- та лімфогенезу. Нами підтверджені літературні дані, що додаткові ін'єкції збагаченої тромбоцитами плазми підсилюють прискорене дренування позаклітинного ексудату, сприяють евакуації клітинного детриту і стабілізації фенестрування ендотеліоцитів. Також доведено, що при застосуванні ін'єкцій плазми відбувається профілактика явищ місцевого запалення шляхом пригнічення синтезу прозапальних цитокінів та стимуляції макрофагів [18, 19].

Враховуючи схожу динаміку показника больового синдрому, ми довели позитивний ефект швидкої евакуації ексудату та своєчасної ліквідації тканинного ацидозу. Також підтверджено літературні дані, що будь-яке механічне пошкодження периферичних нервових волокон може маніфестувати через післяопераційний біль, який виникає внаслідок стимуляції ноцицепторів метаболітами арахідонової кислоти та місцевим накопиченням іонів водню за умов гіпоксії. Мінімізація фармакологічного супроводу в першій клінічній групі, на нашу думку, пов'язана з використанням PRF-згустка в зоні оперативного втручання, що призводить до зниження концентрації простагландинів, та декомпресією нервових стовбурів: водночас усувається набряк та проявляється нейропротекторна дія фібринового згустка, який надійно «закорковує» периферичні нервові закінчення в операційній рані [20, 21].

Висновки

Показник набряку м'яких тканин після проведення інтраорального остеосинтезу є одним із предикторів ефективності лікування. Використання математично обґрунтованого складання плану оперативного втручання з урахуванням біомеханічних параметрів щодо дизайну розрізу з подальшим відшаруванням слизово-окісного клаптя для створення оптимального оперативного доступу, інтраопераційним застосуванням PRF- та PRP-технологій разом з ксеноімплантатами може змінювати ефект комплексного лікування пацієнтів з переломами нижньої щелепи, скорочувати терміни стаціонарного лікування шляхом блокування гіпоксичного стресу, скорочення фази гострого запалення та прискорення репаративного остеогенезу та процесів репарації операційної рани.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом комплексної ініціативної теми кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії Полтавського державного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України «Алгоритм комплексного лікування запальних процесів та профілактики утворення патологічних рубців шкіри голови та шиї після планових та ургентних оперативних втручань», номер державної реєстрації 0124U000093, прикладна, термін виконання 2024–2028 рр., керівник доктор медичних наук, професор Д.С. Аветіков.

Внесок авторів. Свирида О.С. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Свирида Е.О., Торопов О.А. — аналіз даних, написання тексту; Яценко П.І., Стебловський Д.В. — збір і обробка матеріалів; Аветіков Д.С. — збір матеріалів і аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

1. Stanford-Moore G, Murr AH. Mandibular Angle Fractures. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*. 2022;30(1):109–116. <https://doi.org/10.1016/j.fsc.2021.08.009>.

2. Kerdoud O, Aloua R, Kaouani A, Slimani F. Management of mandibular angle fractures through single and two mini-plate fixation systems: Retrospective study of 112 cases. *International Journal of Surgery Case Reports*. 2021;80:105690. doi: 1016/j.ijscr.2021.105690.

3. Padmanaban K, Duraisamy D, Rajiah D, Raghavan P, Annamalai S. Single Versus Two Plate Osteosynthesis for Parasymphysis Fractures of the Mandible: A Prospective Comparative Study. *Cureus*. 2023 Feb 22;15(2):e35311. doi: 10.7759/cureus.35311.

4. Lokes K, Strashko E, Ryabushko M, Baranets I, Yemets A. Early prevention of mandibular contracture caused by maxillofacial phlegmons using physical and rehabilitation medicine. *Ukrainian Dental Almanac*. 2025;4:51–55. doi: 10.31718/2409-0255.4.2025.06.

5. Oksa M, Haapanen A, Kannari L, Furuholm J, Snäll J. Surgical treatment of clinically infected mandibular fractures. *Oral Maxillofac Surg*. 2024 Jun;28(2):839–847. doi: 10.1007/s10006-024-01213-6.

6. Lokes KP, Svyryda OS, Svyryda EO, Steblovskiy DV, Sadyhova DYU, Yatsenko IV, et al. Ultrasonographic assessment of periodontal tissue microcirculation in patients with mandibular fractures. *Kharkiv Dental Journal*. 2025;2(4(6)):581–593. doi: 10.26565/3083-5607-2025-6-05.

7. Bhagat MJA, Durairaj D, Naganathan V, Nathiya B, Kumar GS, Mariam S. Application of Anatomically Designed 2-Dimensional V Plate in Management of Mandible Fracture: A Pilot Study. *J Maxillofac Oral Surg*. 2022 Dec;21(4):1363–1368. doi: 10.1007/s12663-021-01558-5.

8. Brucoli M, Boffano P, Romeo I, Corio C, Benech A, Ruslin M, et al. Surgical management of unilateral body fractures of the edentulous atrophic mandible. *Oral Maxillofac Surg*. 2020 Mar;24(1):65–71. doi: 10.1007/s10006-019-00824-8.

9. Daqiq O, Roossien CC, Wubs FW, van Minnen B. Bio-mechanical assessment of mandibular fracture fixation using finite element analysis validated by polymeric mandible mechanical testing. *Sci Rep*. 2024 May 23;14(1):11795. doi: 10.1038/s41598-024-62011-4.

10. Choi TJ, Chung YH, Cho JY, Burm JS. The Use of Microplates for Internal Fixation of Comminuted Mandibular Fractures. *Ann Plast Surg*. 2019 Jan;82(1):55–61. doi: 10.1097/SAP.0000000000001623.

11. Kolisnychenko M, Lokes K. Influence of methods of augmentation of the alveolar process during tooth extraction operation on the stability of dental implants. *Ukrainian Dental Almanac*. 2024;4:81–85. doi: 10.31718/2409-0255.4.2024.14.

12. Purnell CA, Ettinger RE. Mandible Fractures: Consensus and Controversy. *Plast Reconstr Surg*. 2025 Jul 1;156(1):132e–146e. doi: 10.1097/PRS.00000000000012015.

13. Lokes K, Karasiunok A, Smaglyuk L, Voloshyna L, Voronkova H, Rezvina K. Tooth extraction operation as a component of orthodontical treatment. *Ukrainian Dental Almanac*. 2024;2:32–35. doi: 10.31718/2409-0255.2.2024.06.

14. Oshurko AP, Oliynyk IYu, Kuzniak NB. Anatomical and topographic classification of the mandibular canal with bone atrophy caused by the loss of the masticatory teeth. *Romanian Journal of Stomatology*. 2022;68(4):153–159. doi: 10.37897/RJS.2022.4.1.

15. Sikora M, Baranowska-Bosiacka I, Goschorska M, Chlubek D. In vitro effect of three-dimensional (3D) titanium mini-plate systems used for surgical treatment of condylar fractures on interleukin 1 (IL-1) and interleukin 6 (IL-6) concentration in THP-1 macrophages. *Tissue Cell*. 2020 Dec;67:101404. doi: 10.1016/j.tice.2020.101404.

16. Huseynov AN, Malanchuk VA, Grygorovskiy VV, Brodetskyi IS, Myroshnychenko MS, Kalashnyk-Vakulenko YM. The relationship of clinical and morphological data in comminuted fractures

of the lower jaw. *Wiad Lek.* 2022;75(10):2322-2328. doi: 10.36740/WLek202210102.

17. Pavlychuk T, Shydlovsky M, Kopchak A. A comparative bio-mechanical evaluation of different osteosynthesis techniques used for intracapsular condylar head fractures. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019 Apr-Jun;9(2):123-127. doi: 10.1016/j.jobcr.2019.02.001.

18. Antonowicz B, Mierzejewska ŻA, Borys J, Maciejczyk M, Prokopiuk S, Car H. Evaluation of Titanium Particles, TNF- α , and Caspase-3 Concentrations in Patients with Bones Fixations of the Maxilla and Mandible. *Int J Mol Sci.* 2025 Mar 5;26(5):2316. doi: 10.3390/ijms26052316.

19. Nogami S, Takahashi T, Yamauchi K, Takeda Y, Ito K, Chiba M, Gaggli A. Relationship between arthroscopic findings of synovitis and levels of tumour necrosis factor- α and matrix metallo-

proteinases in synovial lavage fluid from patients with unilateral high mandibular condyle fractures. *J Oral Rehabil.* 2018 Jun;45(6):452-458. doi: 10.1111/joor.12632.

20. Sakarinpanichakul P, Burapholkul W. Platelet-rich fibrin in the management of mandibular fractures. *Arch Craniofac Surg.* 2026 Apr;27(2):55-64. doi: 10.7181/acfs.2025.0079.

21. Tabrizi R, Moslemi H, Shafiei S, Dastgir R, Peacock ZS. Does Platelet-Rich Fibrin Enhance Recovery From Neurosensory Disturbance Following Mandibular Fractures? A Double-Blind, Split-Mouth Randomized Clinical Trial. *Craniofac Trauma Reconstr.* 2024 Dec;17(4):NP90-NP96. doi: 10.1177/19433875241257737.

Отримано/Received 15.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026

Information about authors

Oleksandr S. Svyryda, PhD student, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: o.svyryda@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0004-3943-2406>
Erika O. Svyryda, Director, Medical Curatively-Diagnostic Center "Medion", Poltava, Ukraine; e-mail: ssmedion@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-0412-4002>

Dmytro V. Steblovskiy, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: d.steblovskiy@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7907-8406>

Oleksandr A. Toropov, PhD in Medicine, Assistant, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: o.toropov@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-9805-5469>

Pavlo I. Yatsenko, PhD in Medicine, Assistant, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: p.yatsenko@pdmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8440-8905>

Davyd S. Avetkov, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Vice-Rector for Academic Work, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: d.avetkov@pdmu.edu.ua; phone: +380 (50) 270-48-70; <https://orcid.org/0000-0002-7055-3589>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The article is a fragment of the comprehensive initiative topic of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of the Poltava State Medical University of the Ministry of Health of Ukraine "Algorithm for the complex treatment of inflammatory processes and prevention of the formation of pathological scars on the scalp and neck after planned and urgent surgical interventions", state registration number 0124U000093, applied, implementation period 2024–2028, supervisor Doctor of Medical Sciences, Professor D.S. Avetkov.

Authors' contribution. O.S. Svyryda — collection and processing of materials, writing text; E.O. Svyryda, O.A. Toropov — data analysis, text writing; P.I. Yatsenko, D.V. Steblovskiy — collection and processing of materials; D.S. Avetkov — collection of materials and data analysis, concept and design of the article, text editing.

O.S. Svyryda¹, E.O. Svyryda², D.V. Steblovskiy¹, O.A. Toropov¹, P.I. Yatsenko¹, D.S. Avetkov¹

¹ Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

² Medical Curatively-Diagnostic Center "Medion", Poltava, Ukraine

The impact of the mathematical justification of the surgical approach in osteosynthesis on the clinical course of mandibular fractures

Abstract. Background. Empirical incision design during intraoral osteosynthesis quite often causes iatrogenic damage to the muco-occipital flap during its elevation and mobilization and initiates local ischemia with the risk of further formation of necrosis of soft tissue margins. Purpose was to increase the effectiveness of surgical treatment and the quality of functional rehabilitation of patients with non-gunshot fractures of the mandible by mathematical planning of surgical access for intraoral osteosynthesis. **Materials and methods.** An analysis of clinical indicators was performed in patients operated on using the standard and authors' techniques. **Results.** On the first day of the postoperative period, the dynamics of soft tissue edema indicates acute reactive inflammation in both clinical groups, but with minimal divergence to a minimum in the first group. This fact emphasizes the presence of initial exudation in response to the

primary injury and iatrogenic manipulations for reposition of bone fragments. During days 3 and 5, there was a greater discrepancy in this indicator with marginally high values in the second clinical group, which indicates the long-term existence of the infiltrate associated with iatrogenic disruption of the vascular network architecture and the development of venous stasis. **Conclusions.** The use of mathematically based planning of the surgical intervention taking into account biomechanical parameters for the design of the incision with subsequent detachment of the muco-occipital flap in order to create optimal surgical access, intraoperative use of PRF and PRP technologies leads to a decrease in the level of soft tissue edema and pain syndrome, especially on day 5 of the postoperative period. **Keywords:** metal osteosynthesis; fracture; mandible; intraoral access

Вплив первинного заднього капсулорексису на профіль аберацій високого порядку у пацієнтів після факоемульсифікації катаракти

Резюме. Актуальність. Катаракта залишається основною причиною значного погіршення зору та сліпоти у світі. Сучасна хірургія катаракти використовує техніку факоемульсифікації з малим розрізом, швидкою реабілітацією пацієнтів та низьким загальним рівнем ускладнень. Ризик виникнення вторинної катаракти залишається високим, становить 4,7–18,6 % через 3 роки після операції. Зараз існує потреба в отриманні більше наукових даних про об'єктивний стан оптичної системи ока після виконаного первинного заднього капсулорексису. **Метою** даного дослідження було підвищити результати хірургічного лікування катаракти на підставі aberометричних показників. **Матеріали та методи.** Включено клінічні дані 41 пацієнта, що були поділені на дві групи. Досліджувана група включала 21 пацієнта, якому під час операції було проведено первинний безперервний круговий задній капсулорексис. Контрольна група включала 20 пацієнтів без проведеного заднього капсулорексису. Повне офтальмологічне обстеження включало aberометрію трасування променів, проведено на приладі iTrace (Tracey Technologies, США). **Результати.** Максимальна коригована гострота зору вдаль у дослідній групі становила $0,032 \pm 0,065 \log\text{MAR}$, в контрольній групі — $0,03 \pm 0,047 \log\text{MAR}$ ($p > 0,05$). У жодного пацієнта не виявлено підвищення внутрішньоочного тиску понад 21 мм рт.ст. При аналізі аберацій високого порядку не зафіксовано міжгрупової статистично значущої різниці при оцінці окремих коефіцієнтів Церніке та середньоквадратичного відхилення (RMS HOA). Функція передачі модуляції вказала на перевагу наявності заднього капсулорексису при 20 cpd, водночас інші частоти та середні значення залишалися без значимої різниці між групами пацієнтів. Коефіцієнт Штреля статистично був вищим у групі пацієнтів із проведеним заднім капсулорексисом при діаметрах зіниць від 2,5 до 3,5 мм. **Висновки.** Первинний задній капсулорексис запобігає вторинній катаракті, забезпечуючи тривалу прозорість оптичних середовищ і вищу якість зображення на сітківці. Це усуває потребу в YAG-лазерній дисцизії та зменшує навантаження на медичну систему. Таким чином, виконання заднього капсулорексису залишається доцільним етапом хірургії катаракти для досягнення оптимальних характеристик оптичної системи ока.

Ключові слова: катаракта; факоемульсифікація; інтраокулярна лінза; aberометрія; задній капсулорексис; якість зору

Вступ

Катаракта залишається основною причиною значного погіршення зору та сліпоти у світі, особливо це відзначається серед людей похилого віку та в країнах із низьким та середнім рівнем доходів [1]. За даними ВООЗ, захворювання на катаракту є причиною 51 % випадків сліпоти, що вказує на значну соціально-економічну проблему. Вона не лише викликає втрату зору, а й призводить до інших непрямих наслідків: погіршує можливість самостійно пересуватися, збільшує ризики

падіння та переломів кісток, пов'язана із депресією, зниженням робочої продуктивності та передчасною смертністю [2, 3]. Згідно з оцінками Global Burden of Disease за 2020 рік, катаракта становила приблизно 15,2 млн випадків сліпоти та 78,8 млн випадків помірного та тяжкого порушення зору, і ці числа продовжують зростати з огляду на старіння та збільшення населення світу [1, 4].

Сучасна хірургія катаракти використовує техніку факоемульсифікації, яка вперше була запропонована Чарльзом Кельманом у 1967 році. Раніше методика ліку-

вання катаракти була травматичною процедурою з великим розрізом рогівки до 10–12 мм, що вимагала тривалої госпіталізації та довгого відновлення цілісності тканин. Пацієнти мали більший ризик виникнення експульсивної кровотечі, випадіння склистого тіла, післяопераційного увеїту та ендоефталміту, значного індукованого астигматизму. Факоемульсифікація дозволила створити безшовну техніку з малим розрізом та швидкою реабілітацією пацієнтів. Фрагментація та аспірація ядра кришталика відбуваються завдяки ультразвуковому наконечнику, що вводиться через розріз рогівки 2–3 мм. Таким чином, факоемульсифікація поступово витіснила інтракапсулярну та екстракапсулярну екстракцію і сьогодні є домінуючою методикою, що використовується в усьому світі та цінується за свою безпеку й високі клінічні результати [5, 6].

Лікування катаракти продовжує швидко розвиватися і дає можливість відновити втрачений зір внаслідок помутніння кришталика, а також додатково скоригувати наявні рефракційні недоліки. Таким чином, продовжується удосконалення технік контролю балансу між іригацією та аспірацією рідини під час операції, вакууму, потужності та спрямованості ультразвукової енергії, впровадження якісних інтраокулярних лінз (ІОЛ) складної будови (торичних, мультифокальних, з поліпшеною глибиною фокусу); фемтосекундна лазерна капсулотомія та фрагментація кришталика, інтраопераційна aberометрія та інтегрована в мікроскоп оптична когерентна томографія поступово поліпшили точність, безпеку та передбачуваність операції [7, 8].

Також відбувається вдосконалення окремих хірургічних кроків, а саме маніпуляції з капсульним мішком для стабільнішої фіксації інтраокулярної лінзи, зменшення оптичних абераций та кращої довгострокової якості зору. Інцидентність помутніння задньої капсули зараз залишається відносно високою, через 3 роки після операції вона може становити 4,7–18,6 % [9].

Одним із удосконалень, що потребує більшої кількості досліджень, є первинний задній капсулорексис, який проводиться безпосередньо під час операції з приводу катаракти. Його виконують з метою запобігання виникненню помутніння задньої капсули, потенційних фіброзних змін капсули, що можуть викликати децентрацію чи зміщення ІОЛ, і за потреби проведення YAG-лазерної дисцизії у післяопераційний період [10].

Один із можливих об'єктивних способів оцінки якості зору після операції з приводу катаракти — це проведення aberометрії ока. Аберації вищого порядку (НОА) не коригуються сфероциліндричними лінзами, їх клінічний вплив активно досліджується в останні роки. Ці особливості оптичної системи ока можуть суттєво вплинути на якість зору, особливо на контрастну чутливість, наявність відблисків та гало [11]. Aberометрія — це сучасний метод діагностики, що вимірює оптичні аберації різного порядку всіх структур ока, надаючи кількісні дані про помилки хвильового фронту, що впливають на якість зору. Вона фіксує як аберації нижчого порядку (сфера та циліндр), так і аберації вищого порядку (кома, сферична аберация, трилистник) [12].

Технологія базується на принципах, вперше застосованих в астрономії та адаптованих для застосування

в офтальмології у 1990-х роках. На сьогодні існує низка технологій aberометрії, що можуть бути використані в клінічній практиці. До них належать aberометрія Гартмана — Шака, трасування променів та метод Чернінга [13].

Проведення aberометрії надає можливість отримати наступні клінічні дані. Середньоквадратичні значення (Root-mean-square, або RMS) кількісно визначають величину абераций різних порядків. У псевдофакічному оцінці НОА виникають через нерівномірність рогівки, особливості оптичної конструкції ІОЛ, позиціонування ІОЛ (нахил та децентрація) та залишкові аберації внутрішніх середовищ ока. Кома виникає при проходженні світла під кутом до оптичної осі або при асиметричному зміщенні оптичних елементів, точкове джерело світла розсіюється у вигляді кометоподібного зображення. Трилистник з'являється у випадку потрійної симетрії спотворень хвильового фронту, наприклад при певній напрузі капсульного мішка чи специфічній деформації рогівки. Сферична аберация виникає у випадку нерівномірного заломлення променів, що проходять через центральну та периферичну частину оптичної системи. Вторинний астигматизм характеризується складною неоднорідною зміною заломлюючої сили по радіусу зіниці, на відміну від первинного астигматизму, який має дві перпендикулярні фокальні лінії [14, 15].

Функція розсіювання точки (PSF) представляє зображення на сітківці точкового джерела. Індекс Штреля показує, наскільки ця оптична система близька до ідеальної, що обмежена лише дифракційним лімітом. Функція передачі модуляції (MTF) описує передачу контрасту від об'єкта до зображення на сітківці в різних розмірах деталей, тобто просторових частотах. На відміну від стандартного вимірювання гостроти зору, яке оцінює розпізнавання лише висококонтрастних знаків, MTF показує якість зору детальніше та ближче до реальних життєвих умов [16, 17].

Офтальмологічні aberометри оцінюють подібні оптичні показники, але можуть відрізнятися протоколами вимірювання, вимірюванням при різних розмірах зіниць та специфічними алгоритмами роботи [18]. Клінічно існує декілька варіантів інтерпретації основних показників aberометрії. Так, вищі сукупні значення RMS та НОА пов'язані з гіршими показниками MTF та індексами Штреля та нижчою суб'єктивною задоволеністю при порівнянні різних ІОЛ. Асферичні ІОЛ з нульовою аберацией та оптимізована центрація корелюють з вищими показниками задоволеності пацієнтів у когортних порівняннях [19]. Водночас інші дослідження показують слабку кореляцію між НОА та гостротою зору на відстані, що підкреслює багатофакторний характер задоволеності пацієнтів [20]. Преміальні ІОЛ (мультифокальні, EDOF, торичні) демонструють сильнішу кореляцію між аберациями та суб'єктивними даними від пацієнтів, ніж монофокальні ІОЛ [16]. Тим не менш, відсутні чітко сформовані наукові висновки щодо наявності різниці aberометричних даних між пацієнтами з інтактною задньою капсулою кришталика та після проведення інтраопераційного заднього капсулорексису.

Мета: підвищити результати хірургічного лікування на підставі aberометричних показників.

Матеріали та методи

Дослідження було проведено на клінічній базі кафедри офтальмології Національного медичного університету імені О.О. Богомольця «Зір 100%» серед пацієнтів, яким була виконана факоемульсифікація неускладненої катаракти з імплантацією інтраокулярної лінзи в період з 2023 по 2025 рік.

Усі пацієнти були поділені на дві групи. Досліджувана група включала 21 пацієнта, якому під час операції з приводу катаракти було проведено первинний безперервний круговий задній капсулорексис. Контрольна група включала 20 пацієнтів без проведеного заднього капсулорексису. Із обстежуваних осіб було 18 чоловіків та 23 жінки, середній вік на момент огляду становив 60,8 року (від 47 до 81 року).

Хірургічна техніка включала проведення прозорого розрізу рогівки 2,7 мм по сильному меридіану рогівки, два 1,2-мм парацентези та подальший безперервний передній капсулорексис 5,0–5,5 мм. Задньокамерна ІОЛ Johnson&Johnson Tecnis ZCB00 імплантована в капсульний мішок. Задній капсулорексис проведено діаметром близько 4,5 мм. Післяопераційно всі пацієнти отримували топічно левофлорксацин, бромфенак протягом 2 тижнів та дексаметазон 4 тижні.

Критерієм виключення із дослідження були іррегулярний астигматизм, амбліопія, наявні попередні хірургічні втручання чи клінічно значущі травми ока, інші патологічні зміни органа зору або неврологічні стани, що можуть впливати на гостроту зору та проведення дослідження (наприклад, вікова макулярна дегенерація, волога форма, проліферативна діабетична ретинопатія, глаукома III–IV ст. тощо).

Пацієнтам проведено візометрію без корекції та з максимальною оптичною корекцією, вимірювання внутрішньоочного тиску тонометром iCare IC100, біомікроскопію та aberометрію. Дані aberації хвильового фронту iTrace (Tracey Technologies, США) розрахову-

ються на основі aberометрії трасування променів та топографії рогівки, що дозволяє об’єктивно зробити аналіз оптичних структур ока. Обстеження iTrace проведено без медикаментозного мідріазу із найбільшим діаметром зіниці, із фіксацією погляду на віддаленій точці в затемненій кімнаті.

Статистична обробка даних виконувалася за допомогою програмного забезпечення IBM SPSS Statistics 21.0, використовувалися описові методи, критерій Шапіро — Уїлка, Манна — Уїтні та Стюдента. Дані вказані у формі середнього арифметичного значення та стандартного відхилення ($M \pm SD$), поріг вірогідності $p < 0,05$.

Результати та обговорення

Дослідження включило 41 пацієнта (41 око), із них 18 чоловіків та 23 жінки, середній вік становив 60,8 року (від 47 до 81 року). Максимальна коригована гострота зору на далеку відстань в дослідній групі становила $0,032 \pm 0,065 \log\text{MAR}$, у контрольній групі — $0,03 \pm 0,047 \log\text{MAR}$ ($p > 0,05$). В жодного пацієнта не виявлено підвищення внутрішньоочного тиску понад 21 мм рт.ст.

Проведено аналіз aberацій хвильового фронту внутрішніх середовищ ока за умов мезопічного діаметра зіниці (3,0 мм). Дані виражені як коефіцієнти Церніке третього порядку (кома, трилисник) та четвертого порядку (сферична aberація, вторинний астигматизм). Не зафіксовано міжгрупової статистично значущої різниці ($p > 0,05$) при оцінці окремих коефіцієнтів та середньоквадратичного відхилення (RMS HOA). Це свідчить про відсутність значних порушень централізації ІОЛ, які зазвичай проявляються комою та трилисником, а також про збереження стабільного профілю рефракції у центральній оптичній зоні.

Також нами визначено функцію передачі модуляції (MTF), отримано дані контрастності зображення при просторових частотах від 5 до 30 циклів на градус (cpd).

Таблиця 1. Порівняння показників aberацій вищого порядку в досліджуваних групах пацієнтів

Параметр	Група заднього капсулорексису	Контрольна група	p
RMS HOA	$0,1027 \pm 0,0376$	$0,1025 \pm 0,0282$	0,732
Кома	$0,0636 \pm 0,0307$	$0,0636 \pm 0,0189$	0,424
Сферична aberація	$0,0425 \pm 0,0375$	$0,0281 \pm 0,0200$	0,590
Трислисник	$0,0397 \pm 0,0182$	$0,0475 \pm 0,0278$	0,463
Вторинний астигматизм	$0,0158 \pm 0,0100$	$0,0243 \pm 0,0176$	0,110

Таблиця 2. Характеристика значень функції передачі модуляції в досліджуваних групах пацієнтів

Просторова частота	Група заднього капсулорексису	Контрольна група	p
Середнє MTF	$0,545 \pm 0,132$	$0,486 \pm 0,086$	0,126
5 cpd	$0,841 \pm 0,070$	$0,818 \pm 0,055$	0,509
10 cpd	$0,589 \pm 0,110$	$0,658 \pm 0,124$	0,307
15 cpd	$0,507 \pm 0,146$	$0,409 \pm 0,125$	0,067
20 cpd	$0,395 \pm 0,148$	$0,292 \pm 0,113$	0,049*
25 cpd	$0,319 \pm 0,137$	$0,224 \pm 0,094$	0,076
30 cpd	$0,268 \pm 0,122$	$0,182 \pm 0,079$	0,105

Примітка: * — вірогідна відмінність між групами ($p \leq 0,05$).

Таблиця 3. Зміни значень індексу Штреля при різному діаметрі зіниці в групі з проведенням первинним капсулорексисом та в контрольній групі пацієнтів

Діаметр зіниці, мм	Група заднього капсулорексису	Контрольна група	p
2,0	0,914 ± 0,014	0,794 ± 0,099	0,057
2,5	0,777 ± 0,057	0,550 ± 0,180	0,002*
3,0	0,555 ± 0,157	0,294 ± 0,200	0,009*
3,5	0,373 ± 0,159	0,176 ± 0,136	0,007*
4,0	0,182 ± 0,087	0,102 ± 0,088	0,234

Примітки: для порівняння даних між групами використано U-критерій Манна — Уїтні для незалежних вибірок; дані наведені у вигляді $M \pm SD$, де M — середнє значення, m — стандартне відхилення; рівень статистичної значущості прийнято $\alpha = 0,05$; * — вірогідна відмінність між групами ($p \leq 0,05$).

Вищі значення вказують на кращу здатність передавати контраст деталей певного кутового розміру. Виявлено перевагу наявності заднього капсулорексису при МТФ 20 срд ($p = 0,049$), водночас інші частоти та середнє значення залишалися без значущої різниці між досліджуваними групами.

Просторовий розподіл інтенсивності світла у фокальній площині оцінювали за допомогою функції розсіювання точки (PSF), шляхом розрахунку коефіцієнта Штреля. Моніторинг змін цього коефіцієнта проводився при різних розмірах зіниць від 2,0 до 4,0 мм із кроком 0,5 мм. У випадку діаметра від 2,5 до 3,5 мм коефіцієнт Штреля статистично був вищим у досліджуваній групі пацієнтів, що вказує на більшу чіткість зображення на сітківці у фотопічних та мезопічних умовах.

Висновки

Проведення первинного хірургічного капсулорексису забезпечує тривалу прозорість оптичних середовищ ока, запобігаючи розвитку вторинної катаракти. Такі пацієнти не потребують проведення YAG-лазерної дисцизії задньої капсули у віддалений післяопераційний період, що знижує загальне навантаження на систему охорони здоров'я, зберігає суб'єктивну задоволеність пацієнта стабільно високою гостротою зору. Наявність капсулорексису також асоціюється із кращими характеристиками зображення на сітківці, що виражається вищим показником коефіцієнта Штреля порівняно з інтактною капсулою. Таким чином, виконання заднього капсулорексису залишається доцільним етапом хірургії катаракти для досягнення оптимальних характеристик оптичної системи ока.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Дослідження не має окремого додаткового фінансування. Дослідження проведено в рамках дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії Павленка Романа Олександровича.

Внесок авторів. Скрипник Р.Л. — структура та дизайн дослідження, рецензування та редагування статті; Павленко Р.О. — структура та дизайн дослідження, збір та обробка матеріалів, написання та редагування статті.

Список літератури

1. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study (2024). Global estimates on the number of people blind or visually impaired by cataract: a meta-analysis from 2000 to 2020. *Eye*, 38(11), 2156. doi: 10.1038/s41433-024-02961-1.

2. Jiang, X., Xu, B., Zhai, J., Huang, S., Cheng, H., Ma, L., & Zhao, Y.E. (2026). Global trends in cataract burden: a 30-year epidemiological analysis and prediction of 2050 from the Global Burden of Disease 2021 study. *British Journal of Ophthalmology*, 110(2), 139-147. doi: 10.1136/bjo-2025-327776; PubMed PMID: 40825656.

3. Pascolini, D., & Mariotti, S.P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5), 614-618. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300539; PubMed PMID: 22133988.

4. Steinmetz, J.D., Bourne, R.R., Briant, P.S., Flaxman, S.R., Taylor, H.R., Jonas, J.B., ... & Morse, A.R.F. (2021). Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*, 9(2), e144-e160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7; PubMed PMID: 33275949; PubMed Central PMCID: PMC7820391.

5. Awad, A.A., Alkorbi, H.A., & Serhan, H.A. (2024). Charles Kelman: The father of phacoemulsification. *Cureus*, 16(6). doi: 10.7759/cureus.61727; PubMed PMID: 38975537; PubMed Central PMCID: PMC11225641.

6. Benítez Martínez, M., Baeza Moyano, D., & González-Lezcano, R.A. (2021, November). Phacoemulsification: proposals for improvement in its application. In *Healthcare (Vol. 9, No. 11, p. 1603)*. MDPI. doi: 10.3390/healthcare9111603; PubMed PMID: 34828648; PubMed Central PMCID: PMC8621996.

7. Chen, X., Xu, J., Chen, X., & Yao, K. (2021). Cataract: advances in surgery and whether surgery remains the only treatment in future. *Advances in Ophthalmology Practice and Research*, 1(1), 100008. doi: 10.1016/j.aopr.2021.100008; PubMed PMID: 37846393; PubMed Central PMCID: PMC10577864.

8. Gurnani, B., Mishra, D., Kaur, K., Heda, A., & Sahu, A. (2022). Evolution of manual small-incision cataract surgery from 8 mm to 2 mm — A comprehensive review. *Indian Journal of Ophthalmology*, 70(11), 3773. doi: 10.4103/ijo.IJO_1567_22; PubMed PMID: 36308095; PubMed Central PMCID: PMC9907246.

9. Ursell, P.G., Dhariwal, M., O'Boyle, D., Khan, J., & Venerus, A. (2020). 5 year incidence of YAG capsulotomy and PCO after cataract surgery with single-piece monofocal intraocular lenses: a real-world evidence study of 20,763 eyes. *Eye*, 34(5), 960-968. doi: 10.1038/s41433-019-0630-9; PubMed PMID: 31616057; PubMed Central PMCID: PMC7182577.

10. Liu, X., Yu, M., Huang, Y., Li, Q., & Wu, W. (2023). Intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery with and without primary posterior continuous curvilinear capsulorhexis. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 49(5), 492. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001152.
11. Anbar, M., Mohamed Mostafa, E., Elhawary, A.M., Awany, I., Farouk, M.M., & Mounir, A. (2019). Evaluation of Corneal Higher-Order Aberrations by Scheimpflug–Placido Topography in Patients with Different Refractive Errors: A Retrospective Observational Study. *Journal of Ophthalmology*, 2019(1), 5640356. doi: 10.1155/2019/5640356; PubMed PMID: 31275631; PubMed Central PMCID: PMC6589193.
12. Rodríguez, L.M., Tielas, L.S., Sánchez-Lozano, A., García-Onrubia, L., Velarde-Rodríguez, G., Faria-Ribeiro, M.Á., & Alejandre-Alba, N. (2025). Clinical impact of intraocular lens tilt and decentration on visual outcome in patients undergoing cataract surgery. *Acta Ophthalmologica*, 103. doi: 10.1111/aos.17000.
13. Artal, P., Berrio, E., Guirao, A., & Piers, P. (2002). Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *Journal of the Optical Society of America A*, 19(1), 137–143. doi: 10.1364/JOSAA.19.000137.
14. Lombardo, M., & Lombardo, G. (2010). Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 36(2), 313–331. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.09.026.
15. Polans, J., Jaeken, B., McNabb, R.P., Artal, P., & Izatt, J.A. (2015). Wide-field optical model of the human eye with asymmetrically tilted and decentered lens that reproduces measured ocular aberrations. *Optica*, 2(2), 124–134. doi: 10.1364/OPTICA.2.000124.
16. Cervantes-Coste, G., Tapia, A., Corredor-Ortega, C., Osorio, M., Valdez, R., Massaro, M., ... & Gonzalez-Salinas, R. (2022). The influence of angle alpha, angle kappa, and optical aberrations on visual outcomes after the implantation of a high-addition trifocal IOL. *Journal of Clinical Medicine*, 11(3), 896. doi: 10.3390/jcm11030896; PubMed PMID: 35160346; PubMed Central PMCID: PMC8836565.
17. Ang, R.E.T., Doroy, Z.A.M., Yao, J.A.A., & Cruz, E.M. (2024). Correlation of angle kappa and angle alpha on visual outcomes in eyes implanted with three types of multifocal intraocular lenses. *Scientific Reports*, 14(1), 26732. doi: 10.1038/s41598-024-77699-7.
18. Wei, D., Wei, L., Yanjun, H., Zequan, X., Lei, J., & Qiang, W. (2022). Visual quality analysis using the Chinese Catquest-9SF scale following different spherical aberration IOL implantation. *Frontiers in Public Health*, 10, 1029002. doi: 10.3389/fpubh.2022.1029002; PubMed PMID: 36407986; PubMed Central PMCID: PMC9670146.
19. Wang, S.Y., Stem, M.S., Oren, G., Shtein, R., & Lichter, P.R. (2017). Patient-centered and visual quality outcomes of premium cataract surgery: a systematic review. *European Journal of Ophthalmology*, 27(4), 387–401. doi: 10.5301/ejo.5000978; PubMed PMID: 28574135.
20. He, W., Qiu, X., Zhang, S., Du, Y., Zhang, Y., Lu, Y., & Zhu, X. (2018). Comparison of long-term decentration and tilt in two types of multifocal intraocular lenses with OPD-Scan III aberrometer. *Eye*, 32(7), 1237–1243. doi: 10.1038/s41433-018-0068-5; PubMed PMID: 29520045; PubMed Central PMCID: PMC6043556.

Отримано/Received 18.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026 ■

Information about authors

Rimma Skrypnik, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Ophthalmology, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: rimma.skrypnik@gmail.com, rimmaskrypnik@gmail.com; phone: +380 (67) 403-26-31; <https://orcid.org/0000-0002-8463-1701>

Roman Pavlenko, PhD-student, Department of Ophthalmology, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: rpavlenko.nmu@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8070-5649>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The research has no separate additional funding. The research was conducted as part of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy by Roman O. Pavlenko.

Authors' contribution. R.L. Skrypnik — concept and design of the study, reviewing and editing the article; R.O. Pavlenko — concept and design of the study, collection and processing of materials, writing and editing the manuscript.

R.L. Skrypnik, R.O. Pavlenko
Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Impact of primary posterior capsulorhexis on high-order aberrations following phacoemulsification

Abstract. Background. Cataract remains the leading cause of visual impairment and blindness worldwide. Modern cataract surgery relies on phacoemulsification with small incisions, fast patient rehabilitation, and low complication rates. However, the risk of secondary cataract remains high, with 4.7–18.6 % of cases at 3 years postoperatively. There is currently a need to obtain more scientific data on the objective state of the optical system of the eye after primary posterior capsulorhexis. Purpose: to improve outcomes of cataract surgery based on aberrometric parameters. **Materials and methods.** We analyzed data from 41 patients divided into two groups: the study group (21 patients) underwent primary posterior continuous circular capsulorhexis, while the control group (20 patients) did not. Complete ophthalmic examination included ray tracing aberrometry using the iTrace device (Tracey Technologies, USA). **Results.** Best-corrected distance visual acuity was 0.032 ± 0.065 logMAR in the study group and 0.030 ± 0.047 logMAR in controls

($p > 0.05$). Intraocular pressure remained under 21 mmHg for all patients. High-order aberration analysis showed no statistically significant differences in individual Zernike coefficients or RMS HOA between groups. Modulation transfer function favored the primary posterior capsulorhexis group at 20 cpd, though other spatial frequencies and mean values showed no significant difference. The Strehl ratio was statistically significantly higher in patients with primary posterior capsulorhexis for pupil diameters ranging from 2.5 to 3.5 mm. **Conclusions.** Primary posterior capsulorhexis prevents secondary cataract, providing long-term optical clarity and higher objective retinal image quality. It eliminates the need for YAG laser capsulotomy and reduces healthcare system burden, making posterior capsulorhexis a valuable step in cataract surgery for optimal optical outcomes.

Keywords: cataract; phacoemulsification; intraocular lens; aberrometry; posterior capsulorhexis; optical quality

Цибульська Т.Є.^{1,2}, Тіткова О.Ю.^{1,2}, Борсук С.О.¹¹ Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, м. Запоріжжя, Україна² Клініка ТОВ «ВІЗУС», м. Запоріжжя, Україна

Математична модель прогнозу ймовірності прогресування міопії в дитячому віці

Резюме. Актуальність. Актуальним і дискусійним залишається питання етіології та патогенезу міопії. За даними наукових джерел, рівні ретинолу, 25-гідроксिवітаміну D і токоферолу мають обернений зв'язок з прогресуючим перебігом міопії. **Мета:** підвищення ефективності діагностики перебігу міопії шляхом розробки математичної моделі прогнозу ймовірності прогресування міопії в дитячому віці. **Матеріали та методи.** Обстежено 34 дитини (68 очей) з міопією, з яких у 16 дітей (32 ока) була прогресуюча міопія, а у 18 дітей (36 очей) — стабільний перебіг міопії. Середній вік пацієнтів — від 11 до 16 років. Усім пацієнтам проведено стандартне офтальмологічне обстеження та біохімічне дослідження рівнів вітамінів у ротовій рідині. Статистичну обробку отриманих результатів проводили в програмі Statistica 13 En. **Результати.** За допомогою ROC-аналізу було відібрано 6 потенційних предикторів, що впливають на прогресування міопії, серед яких були показники стану зорового аналізатора (за даними офтальмологічного огляду) і рівень вітамінів ротової рідини. За результатами аналізу рангової кореляції Спірмена встановлено наявність певних взаємозв'язків між офтальмологічними показниками і рівнем вітамінів. Для вибору в модель найбільш значущих ознак, пов'язаних з ризиком прогресування міопії, використовували метод покрокового виключення, так було відібрано 4 факторні ознаки: ретинол, токоферол, 25-гідроксивітамін D, аксіальна довжина ока. **Висновки.** Ризик імовірності прогресування міопії визначався такими факторами: аксіальна довжина ока, рівні 25-гідроксивітаміну D, ретинолу та токоферолу в ротовій рідині. Запропонована прогностична модель у практичній роботі лікаря-офтальмолога дозволить виділити групу дітей з високим ризиком прогресування міопії та своєчасно проводити комплексні профілактичні заходи. **Ключові слова:** міопія; 25-гідроксивітамін D; ретинол; токоферол; діти; ротова рідина

Вступ

Упродовж останніх років відзначається стрімке збільшення кількості дітей з міопією, і прогресування цього захворювання стало однією з найважливіших сучасних медико-соціальних проблем [1, 2]. Особливістю міопічного рефрактогенезу є прогресуючий перебіг даної аномалії рефракції та значний відсоток подальших офтальмологічних ускладнень [3]. Актуальним і дискусійним залишається питання етіології та патогенезу міопії. Дослідження останніх років стверджують, що вітамінний статус також має вплив на перебіг міопії [4–6]. Літературні дані вказують на обернений зв'язок між ступенем прогресування міопії та рівнем 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу [7–10]. Учені

дослідили, що діти віком 5–12 років з міопією мали значно нижче середньодобове споживання ретинолу порівняно з дітьми з еметропічною та гіперметропічною рефракцією [11]. Аналіз матеріалів стосовно ролі вітамінного статусу свідчить про можливий поріг, при якому недостатні рівні 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу збільшують ризик прогресування міопії в дитячому віці [4, 5].

З огляду на зростаючу поширеність міопії серед дітей і важливість своєчасної профілактики розробка й використання математичних моделей прогнозу ймовірності прогресування міопії, що включають рівні 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу, є надзвичайно актуальними [12, 13]. Такий підхід дозволяє інтегрувати

біохімічні й офтальмологічні фактори, створює комплексні та ймовірні прогнози, що сприяють розробці заходів, які спрямовані на профілактику прогресування міопії в дітей.

Тому для практичної роботи офтальмолога є актуальним створення математичної моделі ймовірності прогресування міопії в дитячому віці.

Мета дослідження: підвищення ефективності діагностики перебігу міопії шляхом розробки математичної моделі прогнозу ймовірності прогресування міопії в дитячому віці.

Матеріали та методи

Обстежено 34 дитини (68 очей) з міопією слабого та середнього ступеня. Дослідження розпочинали після отримання інформованої згоди від батьків (представників) дітей на участь у клінічному обстеженні. Подальший моніторинг за дітьми показав, що в 16 дітей (32 ока) перебіг міопії був прогресуючий, а у 18 дітей (36 очей) був стабільний перебіг міопії. Групи були репрезентативними за віком і статтю. Середній вік пацієнтів у групах спостереження вірогідно не відрізнявся і був у межах від 11 до 16 років. Гострота зору в контрольній групі становила 0,9–1,0.

Стандартне офтальмологічне обстеження включало: візометрію, авторефрактометрію до та після циклоплегії (авторефрактометр URK-700), біомікроскопію, офтальмоскопію, визначення аксіальної довжини ока на оптичному біометрі (IOL Master 700 Carl Zeiss, Німеччина). На базі Університетської клініки Запорізького державного медико-фармацевтичного університету проводили імуноферментний аналіз на вміст 25-гідроксिवітаміну D, ретинолу й токоферолу в ротовій рідині. Збір ротової рідини отримували без стимуляції, спльовуванням у стерильні пробірки, з подальшим центрифугуванням 15 хв при 10 000 об/хв. Надосадову частину ротової рідини переливали в пластикові пробірки й зберігали при температурі –30 °С. Дослідження проводили на імуноферментному комплексі ImmunoChem-2100 (США) з використанням комерційного набору реагентів 25-HYDROXYVITAMIN D [25(OH)D] ELISA KIT (кат. № CAN-VD-510) фірми Diagnostics Biochem Canada (Канада), VA (Vitamin A) ELISA Kit (кат. № E-EL-0135), VE (Vitamin E) ELISA Kit (кат. № E-EL-0018) фірми Elabscience (США) відповідно до інструкцій виробника.

Для вибору ознак, пов'язаних з ризиком прогресування міопії, використовували метод покрокового виключення з використанням факторного аналізу, який ранжує ознаки відповідно до їхнього внеску в модель.

Відносний внесок окремих предикторів виражали показником коефіцієнта регресії. Таким чином отримано понад десять рівнянь логістичної регресії, з яких проводився відбір одного рівняння, що мало найвищі значення певних показників. Для побудови математичної моделі індивідуального прогнозу ймовірності розвитку міопії в дітей використовували рівняння бінарної логістичної регресії:

p = 1/(1 + exp(-z));
z = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_nx_n,

де x_1, ..., x_n — незалежні змінні, a_0, ..., a_n — коефіцієнти регресії.

Якщо розраховане значення p дорівнює або перевищує 0,5, то дану дитину слід віднести до групи дітей, у яких може відбутися прогресування міопії. Якщо ж розраховане значення p менше за 0,5, то дану дитину слід віднести до групи дітей, у яких, найімовірніше, міопія не буде прогресувати. Якість побудованої моделі оцінювали за розрахунком її чутливості та специфічності.

Статистичну значущість моделі розраховували за Omnibus Test (універсальний критерій коефіцієнтів). Для оцінки відносної якості моделі було використано ROC-аналіз, а саме значення площі під ROC-кривою (Area Under the Curve, AUC), і 95% ДІ.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили на персональному комп'ютері в програмі Statistica 13 En (StatSoft, ліцензія № JRR709H998119TE-A). Результат вважався статистично значущим при значенні p < 0,05.

Результати

За допомогою ROC-аналізу було відібрано 6 потенційних предикторів, що впливають на прогресування міопії, серед яких були показники стану зорового аналізатора (за даними офтальмологічного огляду) та рівень вітамінів ротової рідини. За результатами аналізу рангової кореляції Спірмена встановлено наявність певних взаємозв'язків між офтальмологічними показниками та рівнем вітамінів. Для аналізу зв'язку можливості прогресування міопії з факторними ознаками був використаний метод побудови логістичних моделей регресії. Для вибору в модель найбільш значущих ознак, пов'язаних з ризиком прогресування міопії, використовували метод покрокового виключення. Таким чином було відібрано 4 факторні ознаки (X), коефіцієнти регресії яких наведено в табл. 1.

Грунтуючись на отриманих даних, побудували модель логістичної регресії для індивідуального прогнозування прогресування набутої міопії в дітей. Модель

Таблиця 1. Ознаки, включені в модель прогнозу ймовірності прогресування набутої міопії в дітей

Найменування ознаки	Рівень ознаки	Коефіцієнт регресії	Стандартна похибка
Рівень ретинолу	X ₁	–0,067	0,032
Рівень токоферолу	X ₂	0,220	0,445
Рівень 25-гідроксिवітаміну D	X ₃	–0,871	0,356
Аксіальна довжина ока	X ₄	1,291	0,595
	Constant	–9,665	14,508

Таблиця 2. Класифікаційна таблиця розрахованої ймовірності розвитку міопії в дітей, %

Групи спостереження	Спрогнозовано випадків		Частка правильних показників
	Стабільний перебіг	Прогресуючий перебіг	
Діти із стабільним перебігом міопії	28	6	82,4
Діти з прогресуючим перебігом міопії	7	59	89,4
Сумарний показник	—	—	87,0

логістичної регресії прогнозу ймовірності прогресування набуття міопії в дітей мала такий вигляд:

$$p = 1 / (1 + \exp(-(-9,655 - 0,067 \times X_1 + 0,220 \times X_2 - 0,871 \times X_3 + 1,291 \times X_4)))$$

Класифікаційна здатність моделі визначалася за даними навчальної вибірки і становила 87,0 %. При цьому ймовірність правильного позитивного результату при використанні даної моделі становила 89,4 %, а ймовірність правильного негативного результату — 82,4 % (табл. 2). Статистичну значущість даної моделі підтверджували результати OmnibusTest ($\chi^2 = 66,855$; $df = 4$; $p < 0,001$).

Оцінка якості моделі за допомогою ROC-аналізу показала наступне. Площа під ROC-кривою, яка відображає рівняння логістичної регресії, дорівнювала 0,924 (95% ДІ 0,872–0,976), $p < 0,0001$, що характеризує добру якість проведеної класифікації ознак. Чутливість моделі виявилася рівною 88,2 %, а специфічність — 75,8 % (рис. 1).

Клінічний приклад 1

Дитина К., 13 років, разом з батьками звернулися до офтальмолога з метою планового огляду. Має міопію слабкого ступеня протягом 2 років. У даний час зниження зору з оптичною корекцією не відзначає. Дані первинного офтальмологічного огляду: гострота зору OD = 0,2 з корекцією sph –2,0 дптр = 1,0; гострота зору OS = 0,3 з корекцією sph –2,0 дптр = 1,0.

Біохімічні дослідження показали: вміст ретинолу 102,03 (ознака X₁); вміст токоферолу 4,88 (ознака X₂); вміст 25-гідроксिवітаміну D 20,00 (ознака X₃).

Дані оптичної біометрії: аксіальна довжина ока OD = 24,29 мм, OS = 24,16 мм (ознака X₄).

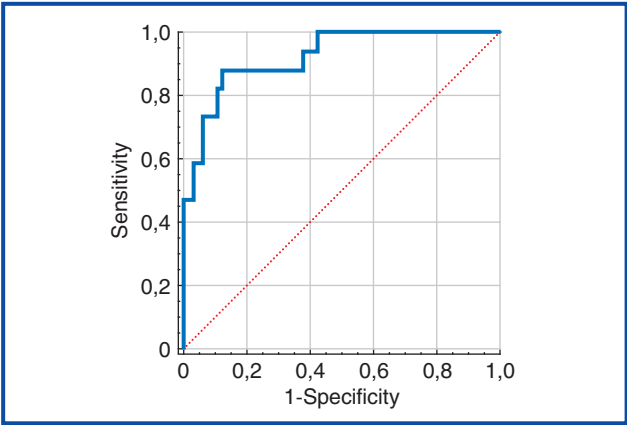


Рисунок 1. ROC-крива моделі прогнозування ймовірності розвитку міопії в дітей

Використовуючи рівняння бінарної логістичної регресії, підраховуємо значення.

$$p(OD) = 1 / (1 + \exp(-(-9,655 - 0,067 \times 102,03 + 0,220 \times 4,88 - 0,871 \times 20,00 + 1,291 \times 24,29))) = 0,18$$
$$p(OS) = 1 / (1 + \exp(-(-9,655 - 0,067 \times 102,03 + 0,220 \times 4,88 - 0,871 \times 20,00 + 1,291 \times 24,16))) = 0,16$$

Висновок. Пацієнт не входить у групу ризику прогресування міопії (розраховане значення p менше за 0,5). Повторний огляд дитини через 6 місяців показав відсутність прогресування міопії.

Клінічний приклад 2

Дитина А., 12 років, разом з батьками звернулися до офтальмолога з метою планового огляду. Скарги на зниження зору вдалину з оптичною корекцією. Міопія слабкого ступеня протягом 1 року. Дані первинного офтальмологічного огляду: гострота зору OD = 0,1 з корекцією sph –2,25 дптр = 1,0; гострота зору OS = 0,2 з корекцією sph –2,25 дптр = 1,0.

Біохімічні дослідження показали: вміст ретинолу 88,34 (ознака X₁); вміст токоферолу 5,08 (ознака X₂); вміст 25-гідроксिवітаміну D 13,78 (ознака X₃).

Дані оптичної біометрії: аксіальна довжина ока OD = 25,12 мм, OS = 25,09 мм (ознака X₄).

Використовуючи рівняння бінарної логістичної регресії, підраховуємо значення.

$$p(OD) = 1 / (1 + \exp(-(-9,655 - 0,067 \times 88,34 + 0,220 \times 5,08 - 0,871 \times 13,78 + 1,291 \times 25,12))) = 0,9974$$
$$p(OS) = 1 / (1 + \exp(-(-9,655 - 0,067 \times 88,34 + 0,220 \times 5,08 - 0,871 \times 13,78 + 1,291 \times 25,09))) = 0,9973$$

Висновок. Пацієнт входить у групу ризику прогресування міопії (розраховане значення p перевищує 0,5).

Повторний огляд дитини через 12 місяців показав прогресування міопії.

Обговорення

Незважаючи на досягнення сучасної науки в діагностиці та лікуванні міопії, усе ще існують труднощі у визначенні факторів, що запускають прогресування даної аномалії рефракції, особливо щодо кожного окремого випадку. Існуючі методи прогнозування перебігу міопії в практичній медицині є обмеженими, часто вимагають багато часу для оцінки й зазвичай констатують факт уже прогресуючої міопії. Саме тому нас цікавило, які саме предиктори можуть бути маркерами прогресування міопії.

У дослідженні B.J. Jung і D. Jee низькі рівні 25-гідроксिवітаміну D пов'язані з підвищеним ризиком про-

гресування міопії. На сьогодні зниження кількості даного вітаміну поширене серед дітей, особливо в регіонах з обмеженим доступом до сонячного світла, що підвищує актуальність його моніторингу і включення до прогностичних моделей [8]. У свою чергу, ретинол необхідний для підтримки здоров'я сітківки та нормальної функції органа зору. Недостатність ретинолу може сприяти розвитку й прогресуванню міопії [6, 14, 15]. За даними D. Juchnowic і M. Dzikowski, токоферол є потужним антиоксидантом, він захищає сітківку від окисдативного стресу, що може сприяти прогресуванню міопії [5, 6, 16]. Одним з важливих чинників, що впливають на розвиток і прогресування міопії, є дисбаланс між окиснювальними й антиоксидантними процесами, нормалізація якого може бути досягнута за допомогою каротиноїдів, мікроелементів і вітамінів [15, 17, 18]. Урахування рівнів 25-гідроксивітаміну D, ретинолу та токоферолу в моделі прогнозування дозволяє краще розуміти, як дефіцит даних вітамінів впливає на ризик прогресування міопії.

У зв'язку з цим з метою прогнозування прогресування міопії в дітей нами було проаналізовано ризик прогресування міопії залежно від показників аксіальної довжини ока, рівнів 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу в ротовій рідині. У публікаціях останніх років особлива увага приділяється дисбалансу 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу при розвитку різних офтальмологічних захворювань, у тому числі міопії [6, 13, 19, 20]. Попередніми спостереженнями встановлено, що зниження рівнів вітамінів у крові супроводжується збільшенням міопічної рефракції [8–10]. Це узгоджується і з нашим дослідженням. Зазначимо, що, за даними літератури, дослідження рівня вітамінів у дітей з міопічною рефракцією відбувалося переважно в сироватці крові. У нашій роботі вміст 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу в організмі визначався шляхом аналізу ротової рідини. Забір цього біологічного матеріалу є неінвазивним, більш зручним і доступним, що має важливе значення для дитячого віку. Отримані нами дані вказують на вірогідний вплив 25-гідроксивітаміну D, аксіальної довжини, ретинолу й токоферолу на прогресування міопічного рефрактогенезу.

Висновки

1. Ризик імовірності прогресування набутої міопії визначався комплексом таких факторів: аксіальна довжина ока, рівні 25-гідроксивітаміну D, ретинолу й токоферолу в ротовій рідині.

2. Отримана математична модель (0,924 (95% ДІ 0,872–0,976)) дозволяє виявити сукупність факторів ризику прогресування набутої міопії в дітей і розрахувати ймовірність її прогресування.

3. Застосування запропонованої прогностичної моделі в практичній роботі лікаря-офтальмолога дозволить виділити групу дітей з ризиком прогресування набутої міопії та своєчасно проводити в даній групі комплексні профілактичні заходи.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Робота виконана в рамках НДР кафедри офтальмології Запорізького державного медико-фармацевтичного університету «Психо-емоціональні, функціональні та морфологічні зміни організму при консервативному, хірургічному та лазерному лікуванні патологій переднього та заднього відділів ока» (номер державної реєстрації 0119U100936).

Внесок авторів. Цибульська Т.Є. — концепція і дизайн дослідження; Тіткова О.Ю. — збирання й обробка матеріалів, аналіз отриманих даних, написання тексту; Борсук С.О. — статистичний аналіз, аналіз отриманих даних, написання тексту.

Список літератури

1. Bezditko PA, Parhomets RA. Analysis of the Influence of Corneal Parameters on the Pattern of Myopia Progression when Using Orthokeratology Lenses in Children. *Ukrainian Journal of Ophthalmology*. 2021;2(13):39–46. <https://doi.org/10.30702/ophthalmology30062021-13.2.39-46/17.7-05>
2. Naduvilath T, He X, Xu X, Sankaridurg P. Normative data for axial elongation in Asian children. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2023;43(5):1160–1168. <https://doi.org/10.1111/opo.13159>
3. Yu CY, Dong L, Li YF, Wei WB. Vitamin D and myopia: A review. *International Ophthalmology*. 2024;44(1):95. <https://doi.org/10.1007/s10792-024-03009-9>
4. Ng FJ, Mackey DA, O'Sullivan TA, et al. Is dietary vitamin A associated with myopia from adolescence to young adulthood? *Translational Vision Science & Technology*. 2020;9(6):29. <https://doi.org/10.1167/TVST.9.6.29>
5. Juchnowicz D, Dzikowski M, Rog J, et al. Oxidative stress biomarkers as a predictor of stage illness and clinical course of schizophrenia. *Frontiers in Psychiatry*. 2021;12:728986. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.728986>
6. Maciejczyk M, Zalewska A, Ładny JR. Salivary anti-oxidant barrier, redox status, and oxidative damage to proteins and lipids in healthy children, adults, and the elderly. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2019;2019:4393460. <https://doi.org/10.1155/2019/4393460>
7. Lingham G, Mackey DA, Zhu K, et al. Time spent outdoors through childhood and adolescence — assessed by 25-hydroxyvitamin D concentration — and risk of myopia at 20 years. *Acta Ophthalmologica*. 2021;99(6):679–687. <https://doi.org/10.1111/aos.14709>
8. Jung BJ, Jee D. Association between serum 25-hydroxyvitamin D levels and myopia in general Korean adults. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020;68(1):15–22. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_760_19
9. Zhang R, Dong L, Yang Q, et al. Screening for novel risk factors related to high myopia using machine learning. *BMC Ophthalmology*. 2022; 22:405. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02627-0>
10. Zheng T, Qu Y, Fu W, et al. Association between vitamin E and myopia in a cross-sectional study of the United States population. *Research Square*. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3259867/v1>
11. Kim JM, Choi YJ. Nutritional intake, environmental factors, and their impact on myopia prevalence in Korean children aged 5–12 years. *Journal of Health, Population and Nutrition*. 2024;43(1):14. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00506-6>
12. Wong YL, Sabanayagam C, Wong CW, Cheung YB, Man RE, Yeo AC, et al. Six-year changes in myopic macular de-

generation in adults of the Singapore Epidemiology of Eye Diseases study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2020;61(4):14. <https://doi.org/10.1167/iows.61.4.14>.

13. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>.

14. McFadden SA, Wildsoet C. The effect of optic nerve section on form deprivation myopia in the guinea pig. *Journal of Comparative Neurology*. 2020;528:2874–2887.

15. Бушуєва Н.М., Коновалова Н.В., Храменко Н.І. та ін. Профілактика порушень акомодативної функції у дітей. *Архів офтальмології України*. 2021. № 9. С. 25–28.

16. Li M, Tan CS, Foo LL, et al. Dietary intake and associations with myopia in Singapore children. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2022;42(2):319–326. <https://doi.org/10.1111/opo.12929>.

17. Saggese G, et al. Vitamin D in pediatric age: Consensus of the Italian Pediatric Society and the Italian Society of Preventive and Social Pediatrics, jointly with the Italian Federation of Pediatricians. *Italian Journal of Pediatrics*. 2018;44:51. <https://doi.org/10.1186/s13052-018-0488-7>.

18. Wang W, et al. Pharmacotherapeutic candidates for myopia: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2021;133:111092. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.111092>.

19. He T, et al. Survey on pattern of myopia in school children in Hangzhou after the COVID-19 pandemic. *BMC Public Health*. 2024;24(1):1850. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19338-4>.

20. Vitamin E. In: Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. The National Academies Press, 2000. P. 231–232. <https://doi.org/10.17226/9810>.

Отримано/Received 01.06.2026

Рецензовано/Revised 14.07.2026

Прийнято до друку/Accepted 02.09.2026

Information about authors

Tamila Tsybul'ska, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Ophthalmology, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia, Ukraine; e-mail: tamila.ey@gmail.com; Ophthalmologist, Clinic VISUS LLC, Zaporizhzhia, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-1745-7002>

Oleksandra Titkova, PhD in Medicine, Assistant, Department of Ophthalmology, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia, Ukraine; e-mail: titkovaoleksandra7@gmail.com; phone: +380 (98) 436-22-00; Ophthalmologist, Clinic "VISUS" LLC, Zaporizhzhia, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0000-8551-0883>

Serhii Borsuk, PhD in Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Department of Pharmaceutical, Organic and Bioorganic Chemistry, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia, Ukraine; e-mail: borsuksergeij@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4654-652X>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The work is a fragment of research work of the Department of Ophthalmology of Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University "Psycho-emotional, functional and morphological changes during conservative, surgical and laser treatment of pathology of the front and back parts of the eye", state registration number 0119U100936.

Authors' contribution. T.Ye. Tsybul'ska — research concept and design; O.Yu. Titkova — collection and processing of materials, analysis of received data, writing of the text; S.O. Borsuk — statistical analysis, analysis of the obtained data, writing the text.

T.Ye. Tsybul'ska^{1,2}, O.Yu. Titkova^{1,2}, S.O. Borsuk¹

¹ Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia, Ukraine

² Clinic VISUS LLC, Zaporizhzhia, Ukraine

A mathematical model for predicting the likelihood of myopia progression in children

Abstract. Background. The etiology and pathogenesis of myopia remain topical and debatable. According to scientific sources, the levels of retinol, 25-hydroxyvitamin D and tocopherol are inversely related to progressive course of myopia. The aim of the study was to improve the effectiveness of diagnosing the course of myopia by developing a mathematical model to predict the probability of myopia progression in childhood. **Materials and methods.** Thirty-four children (68 eyes) with myopia were examined, of which 16 patients (32 eyes) had progressive myopia, and 18 children (36 eyes) had stable course. The average age of the patients ranged from 11 to 16 years. All of them underwent a standard ophthalmic examination and biochemical study of vitamin levels in oral fluid. Statistical processing of the obtained results was carried out in the Statistica 13 En program. **Results.** Using ROC analysis, 6 potential predictors influencing the progression of myopia were selected, which included indicators of the state of the visual analyzer (according to the

findings of ophthalmic examination) and the level of vitamins in the oral fluid. Spearman's rank correlation analysis established the presence of relationships between ophthalmic indicators and the level of vitamins. To select the most significant features associated with the risk of myopia progression for the model, a stepwise elimination method was used, resulting in the selection of 4 signs: retinol, tocopherol, 25-hydroxyvitamin D, and axial length of the eye. **Conclusions.** The risk of the probability of myopia progression was determined by the following factors: axial length of the eye, levels of 25-hydroxyvitamin D, retinol and tocopherol in oral fluid. This prognostic model in the practical work of an ophthalmologist will allow us to identify a group of children at high risk of myopia progression and to carry out comprehensive preventive measures in a timely manner.

Keywords: myopia; 25-hydroxyvitamin D; retinol; tocopherol; children; oral liquid

Венгер А.Ю.

Одеський національний медичний університет, м. Одеса, Україна

Прогностична цінність аполіпопротеїну J в оцінці ризику прогресування діабетичної ретинопатії залежно від модифікуючих чинників

Резюме. Актуальність. Важливим чинником впливу на стан гематоретинального бар'єра є хемокін аполіпопротеїн (АРО), визначення його ролі у патогенезі діабетичної ретинопатії (ДР) може допомогти у прогностичній оцінці перебігу захворювання. **Мета:** встановлення прогностичної значущості АРО J в оцінці ризику прогресування ДР залежно від стадії та модифікуючих чинників. **Матеріали та методи.** У дослідження було залучено 114 пацієнтів (212 очей), хворих на цукровий діабет (ЦД) 2-го типу, середній вік $62,92 \pm 3,90$ року, середній стаж ЦД $14,82 \pm 2,45$ року, середній вміст HbA1c — $9,20 \pm 0,83$ %. Пацієнтів з ДР I стадії було 27, з ДР II стадії — 54 та з ДР III стадії — 33. Вміст хемокіну АРО J у сироватці крові встановлювали за допомогою набору для визначення АРО J (кластерину) людини методом імуноферментного аналізу.

Результати. Виявлено вірогідне збільшення концентрації АРО J сироватки крові ($P = 0,003$) у хворих на ЦД 2-го типу залежно від виду антидіабетичного лікування у міру переходу від непроліферативної стадії ДР до проліферативної у групі таблетованих препаратів. При порівнянні хворих цих груп між собою за стадіями ДР виявлено значне вірогідне зменшення концентрації цього хемокіну на непроліферативній ($P = 0,01$) і проліферативній ($P = 0,001$) стадіях ДР у групі ін'єкційної терапії. При застосуванні двофакторного регресійного аналізу (Tests of Between-Subjects Effects) при стандартизації за видом антидіабетичного лікування виникає вірогідна залежність вмісту АРО J від стадії ДР ($P = 0,003$). **Висновки.** Вірогідна залежність вмісту АРО J від стадії ДР ($P = 0,003$) виникає при стандартизації за видом антидіабетичного лікування. Більш впливовим модифікуючим чинником прогресування ДР із урахуванням АРО J є вік пацієнтів.

Ключові слова: діабетична ретинопатія; цукровий діабет 2-го типу; аполіпопротеїн J; фактори ризику; прогноз

Вступ

Відомо, що діабетична ретинопатія (ДР), спричинена тривалим високим рівнем глікемії, є основним ускладненням цукрового діабету (ЦД) та поширеною причиною сліпоти серед дорослих працездатного віку (20–74 років) у країнах із високим економічним розвитком, що накладає негативний медико-соціальний відбиток на загальногромадське здоров'я та погіршує його фінансові показники [1]. Відповідно до результатів сучасних досліджень Американська діабетична асоціація (ADA) нещодавно визначила ДР як тканиноспецифічне нейроваскулярне ускладнення ЦД [2]. Патологія сітківки ока при ЦД відзначається ішемією,

пошкодженням судин і нейронів сітківки й активацією резидентних імунних клітин (макрофагів), причиною витоком компонентів сироватки крові у міжклітинний простір тканини сітківки, характеризується непоправним ураженням судин, мікроаневризмами, внутрішньоретинальними крововиливами, відкладенням твердих і м'яких ексудатів і аномальним ангиогенезом [3]. Неспецифічне низькоградуальне запалення відіграє значну роль у пошкодженні гематоретинального бар'єра (ГРБ), тому механізми, що пов'язують запалення, нейродегенерацію та порушення ГРБ, є об'єктами фундаментальних і клінічних наукових досліджень [4]. Сучасні уявлення про патогенез ДР обов'язково

включають участь прозапальних цитокінів і хемокинів. Безпосереднім чинником впливу на стан бар'єрних властивостей ендотеліальних клітин і астроцитів, апоптозу та цитопротекції у сітківці ока є хемокин аполіпопротеїн J (APO J). Є дані, що APO J бере участь у різних фізіологічних процесах, як-от транспортування ліпідів, інгібування комплементу. Показано також, що APO J виконує важливі функції у ремоделюванні тканин у відповідь на гормональну регуляцію та пошкодження, у цитопротекції, клітинно-клітинній адгезії, взаємодії «клітина — субстрат», у ремоделюванні тканин та апоптотичній смерті клітин, у диференціації мезенхімальних клітин, відновленні тканин шляхом індукції проліферації різних типів клітин після пошкодження й у посиленні хемотаксичної міграції людських моноцитів [5]. ЦД впливає на експресію APO J у сітківці шурів на моделі стрептозототин-індукованого ЦД і може відображати спричинене ЦД пошкодження та/або зміни нейроваскулярних структур, що призводить до ДР [6].

Вміст APO J знижується у склоподібному тілі у пацієнтів із ЦД 2-го типу та проліферативною ДР порівняно із донорськими нормальними людськими очима (для трансплантації рогівки) [7]. Існують дані, що сироваткові рівні APO J були вищими в пацієнтів із ЦД 2-го типу з інфарктом міокарда, ніж в інших групах кардіологічних пацієнтів [8]. Дослідження зразків склоподібного тіла й ока пацієнтів із ДР показало сильну імунореактивність (антитіла) до APO J у фіброваскулярних фрагментах очей, що може віддзеркалювати важливу роль APO J у патогенезі цього ускладнення та бути корисним показником оцінки активності та перебігу ДР [9]. Прогнозуються і майбутні кроки, які можуть призвести до розробки APO J як біологічного препарату для лікування захворювань очей [10].

Мета роботи: встановити прогностичну значущість APO J в оцінці ризику прогресування ДР із урахуванням її стадії та модифікуючих чинників.

Матеріали та методи

За дизайном дослідження було відкритим, одномоментним, когортним, неінтервенційним, за типом «випадок — контроль», одноцентровим. *Критерії включення* пацієнтів у дослідження: громадяни України (українська популяція), інформована згода пацієнта, документальне підтвердження діагнозу ЦД 2-го типу, вік від 18 років, дотримання положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (Сеул, 2008) та Наказу МОЗ України від 18 березня 2008 року № 142. Робота була схвалена комісією з питань біоетики Одеського національного медичного університету.

Критерії невиключення: вагітність і лактація, ЦД 1-го типу, інша ендокринна патологія, хронічна хвороба нирок із протеїнурією та гіперкреатинімією, онкологія (зокрема, в анамнезі), психічні та гострі інфекційні захворювання, декомпенсація інших коморбідних станів, наявність нейродегенеративних захворювань; офтальмологічні — патологія зорового нерва, макулопатія, глаукома, зріла катаракта, гемофтальм, відшарування сітківки різного генезу. Діагноз ЦД 2-го типу встановлювався згідно з Наказом МОЗ України від 24 липня 2024 року № 1300, діагноз

ДР — згідно з Наказом МОЗ України № 574 від 5 серпня 2009 року. Оскільки вік пацієнтів, якість зорової функції обмежує можливість ефективного самоконтролю, нами було вибрано рівень компенсації ЦД 2-го типу у хворих із ДР за $HbA1c \leq 8\%$, що не суперечить клінічним настановам Американської діабетичної асоціації 2023 року [1]. Загалом у дослідження було залучено 114 дорослих осіб (212 очей), хворих на ЦД 2-го типу. Чоловіків було 60, жінок — 54, середній вік становив $62,92 \pm 3,90$ року (min — 24, max — 83), середній стаж ЦД — $14,82 \pm 2,45$ року (min — 1, max — 38), середній вміст $HbA1c$ — $9,20 \pm 0,83\%$ (min — 5,8, max — 18,4). Пацієнтів із ДР I стадії було 27, з ДР II стадії — 54 та з ДР III стадії — 33. Оскільки лабораторні дослідження обмежували кількість пацієнтів до 82, то методом випадкових виборок було сформовано відповідну адекватну когорту хворих (157 очей).

Методи дослідження: візометрія, рефрактометрія, офтальмоскопія, біомікроскопія, біометрія, тонометрія, периметрія, оптична когерентна томографія, флуоресцентна ангіографія. Вміст хемокину APO J у сироватці крові встановлювали за допомогою набору для визначення APO J (кластерину) людини методом імуноферментного аналізу Human Clusterin ELISA фірми BioVendor Laboratory Medicine, Inc. На основі даних, отриманих при аналізі цим методом у лабораторії виробника взірців сироватки крові 200 випадкових донорів, нами було відібрано дані 176 дорослих осіб відповідного віку та статі для порівняння (контрольна група). Обмеження кількості хворих із ЦД та ДР до 82 зумовлено особливостями ELISA аналізу, де контрольні заміри становлять 14 проб (у дублікатах), а набори розраховані на 96 проб. Кількісні змінні виражені як середнє значення $M \pm$ стандартна помилка ($\pm m$, min — max). Розподіл змінних оцінювався за допомогою тесту критерію Колмогорова — Смірнова. Змінні з нормальним розподілом аналізували за допомогою t-критерію Стюдента, для порівняння змінних із ненормальним розподілом використовували U-тест Манна — Уїтні, тест Крускала — Уолліса, розраховувався 95% ДІ, а при дисперсійному аналізі (Tests of Between-Subjects Effects) — точний критерій Фішера. У всіх значення $P < 0,05$ вважалося статистично значущим. Для статистичної обробки отриманих даних застосовувалися програмні пакети MedCalc v. 18.11 (MedCalc Software Inc, Broekstraat, Бельгія), пакет EZR v.1.35 (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Японія), GLZ (Statistica 10, StatSoft, Inc., США), Statgraphics Technologies Inc. (США).

Результати

Виявлено статистично значуще ($P < 0,05$) зменшення концентрації APO J сироватки крові у групі хворих на ДР за ЦД 2-го типу порівняно із контрольною групою (табл. 1).

При порівнянні показників APO J у групах контролю між собою зафіксовано вірогідне ($P < 0,01$) збільшення його вмісту в сироватці крові у жінок. Додатково констатовано суттєве вірогідне зменшення концентрації APO J у сироватці крові у чоловіків ($P < 0,001$) і у жінок ($P < 0,001$) з ДР порівняно із відповідними контрольними групами (табл. 2).

Таблиця 1. Показники концентрації АРО J сироватки крові хворих на ДР за ЦД 2-го типу у всій сукупності й у групі контролю, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Показник	Контрольна група (n = 10)	Хворі на ДР (n = 82)	Рівень значущості відмінності, P
АРО J, мкг/мл	92,9 ± 6,4 [40,2–144,6]	79,5 ± 2,0 [47,8–122,5]	t = 2,027 P < 0,05

Примітки: n — кількість хворих, M — середнє значення, ($\pm m$) — стандартна похибка, t-критерій Стьюдента.

Таблиця 2. Показники концентрації АРО J сироватки крові залежно від статі хворих на ДР за ЦД 2-го типу й у групах контролю, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Чоловіки (контроль) (n = 83)	Чоловіки з ДР (n = 41)	Жінки (контроль) (n = 83)	Жінки з ДР (n = 41)	Рівень значущості відмінності, P
92,6 ± 2,2 [52,5–147,0]	79,3 ± 3,2 [48,7–149,1]	99,9 ± 2,0 [51,5–164,5]	81,5 ± 2,9 [54,6–120,3]	t = 0,505 P ₃ > 0,05
	t = 3,474 P ₂ < 0,001	t = 2,525 P ₁ < 0,01	t = 3,523 P ₂ < 0,001	

Примітки: P₁ — при порівнянні чоловіків та жінок у контролі, P₂ — при порівнянні чоловіків та жінок з відповідним контролем, P₃ — при порівнянні з чоловіками та жінками, хворими на ДР (за t-критерієм Стьюдента).

Знайдено суттєве вірогідне зменшення концентрації АРО J у сироватці крові (P < 0,001 та P < 0,05 відповідно) в обох вікових групах пацієнтів з ДР порівняно із відповідними контрольними групами (табл. 3).

Не зафіксовано статистично значущих відмінностей концентрації АРО J сироватки крові у хворих на ДР за ЦД 2-го типу зі стажем до 10 років включно порівняно із групою хворих на ДР із терміном ЦД більше 10 років (табл. 4).

Не виявлено статистично значущих відмінностей концентрації АРО J сироватки крові хворих із ДР у групі із вмістом HbA1c ≤ 8 % порівняно із групою хворих із ДР і вмістом HbA1c > 8 % (табл. 5).

Проте знайдено вірогідне (P < 0,01) зменшення вмісту АРО J в сироватці крові у діабетичних хворих з ДР на ін'єкційній терапії (ІТ) порівняно із пацієнтами, що приймають таблетовані цукрознижуючі препарати (табл. 6).

Таблиця 3. Показники концентрації АРО J сироватки крові залежно від віку хворих на ДР за ЦД 2-го типу й у групах контролю, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Контроль 1 (n = 131)	Хворі з ДР ≤ 65 р. (n = 39)	Контроль 2 (n = 35)	Хворі з ДР > 65 р. (n = 43)	Рівень значущості відмінності, P
95,6 ± 2,4 [51,5–164,0]	78,5 ± 3,3 [51,5–149,1]	96,4 ± 6,7 [54,0–164,5]	82,1 ± 2,8 [47,8–120,3]	P ₃ > 0,05
	t = 4,191 P ₂ < 0,001	P ₁ > 0,05	t = 1,969 P ₂ < 0,05	

Примітки: P₁ — при порівнянні вікових груп у контролі, P₂ — при порівнянні вікових груп із відповідним контролем, P₃ — при порівнянні вікових груп хворих на ДР (за t-критерієм Стьюдента).

Таблиця 4. Показники концентрації АРО J сироватки крові хворих на ДР залежно від стажу ЦД 2-го типу, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Показник	Стаж ЦД ≤ 10 р. (n = 22)	Стаж ЦД > 10 р. (n = 60)	Рівень значущості відмінності, P
АРО J, мкг/мл	84,8 ± 5,2 [54,6–149,1]	78,7 ± 2,5 [47,8–117,9]	P > 0,05

Таблиця 5. Показники концентрації АРО J сироватки крові хворих на ДР залежно від ступеня компенсації ЦД 2-го типу, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Показник	HbA1c ≤ 8 % (n = 24)	HbA1c > 8 % (n = 58)	Рівень значущості відмінності, P
АРО J, мкг/мл	81,2 ± 4,5 [54,9–149,1]	80,0 ± 2,5 [47,8–122,5]	P > 0,05

Таблиця 6. Показники концентрації АРО J сироватки крові у хворих із ДР залежно від виду антидіабетичного лікування, мкг/мл ($M \pm m$, min — max)

Показник	Таблетовані препарати (n = 42)	ІТ (n = 40)	Рівень значущості відмінності, P
АРО J, мкг/мл	85,7 ± 3,4 [149,1–48,7]	74,8 ± 2,4 [115,1–51,1]	t = 2,6152 P < 0,01

При порівнянні концентрації АРО J сироватки крові у хворих на ЦД 2-го типу залежно від стадії ДР вірогідних змін виявлено не було (табл. 7).

Але при детальному аналізі вмісту АРО J сироватки крові на різних стадіях ДР із урахуванням модифікуючих чинників прогресування виявлено суттєве вірогідне збільшення концентрації АРО J сироватки крові ($P = 0,003$) у хворих на ЦД 2-го типу залежно від виду антидіабетичного лікування у міру переходу від першої (непроліферативна ДР) до третьої (проліферативна) стадії ДР у групі таблетованих препаратів (ТП). У групі ІТ зміни мають характер висхідної тенденції ($P = 0,12$). При порівнянні концентрації

АРО J сироватки крові у хворих цих груп між собою за стадіями ДР виявлено значне вірогідне зменшення концентрації цього хемокіну на непроліферативній ($P = 0,01$) і проліферативній ($P = 0,001$) стадіях ДР у групі ІТ (табл. 8).

При застосуванні двофакторного регресійного аналізу (Tests of Between-Subjects Effects) при стандартизації за видом антидіабетичного лікування виникає вірогідна залежність вмісту АРО J від стадії ДР ($P = 0,003$), а при урахуванні стадії ДР — від типу цукрознижувальної терапії ($P < 0,001$). Те саме відбувається при урахуванні одночасного впливу стадії ДР та виду антидіабетичного лікування ($P < 0,001$) (табл. 9).

Таблиця 7. Показники концентрації АРО J сироватки крові хворих на ЦД 2-го типу залежно від стадії ДР, мкг/мл ($M \pm m$; 95% ДІ)

Стадія ДР			Рівень значущості відмінності, P
Непроліферативна ДР	Препроліферативна ДР	Проліферативна ДР	
n = 18 82,6 ± 5,10 75,4–89,8	n = 42 78,1 ± 3,3 73,4–82,8	n = 22 82,9 ± 4,6 76,4–89,4	$P_{(K-W)} = 0,64$

Примітки: 95% ДІ — 95% довірчий інтервал, $P_{(K-W)}$ — вірогідність із застосуванням критерію Крускала — Уолліса при порівнянні між стадіями ДР.

Таблиця 8. Показники концентрації АРО J сироватки крові хворих на ЦД 2-го типу на різних стадіях ДР залежно від статі, віку хворих, вмісту HbA1c та виду цукрознижувальної терапії, мкг/мл ($M \pm m$; 95% ДІ)

Фактори	Стадія ДР			Рівень значущості відмінності, P
	Непроліферативна ДР	Препроліферативна ДР	Проліферативна ДР	
Чоловіки	n = 7 81,8 ± 7,79 70,7–93,0	n = 22 75,2 ± 4,49 68,9–81,5	n = 12 85,2 ± 5,95 76,6–93,7	$P_{(K-W)} = 0,61$
Жінки	n = 11 83,1 ± 5,74 74,8–91,3 $P_{(W-M-W)} = 0,96^*$	n = 20 81,2 ± 4,25 75,1–87,3 $P_{(W-M-W)} = 0,25^*$	n = 10 80,2 ± 6,0 71,6–88,8 $P_{(W-M-W)} = 0,64^*$	$P_{(K-W)} = 0,88$
Вік ≤ 65, роки	n = 10 78,7 ± 6,67 69,2–88,3	n = 15 76,6 ± 5,44 68,8–84,4	n = 14 80,2 ± 5,63 72,1–88,3	$P_{(K-W)} = 0,99$
Вік > 65, роки	n = 8 87,5 ± 6,55 78,1–96,8 $P_{(W-M-W)} = 0,47^*$	n = 27 78,9 ± 3,56 73,8–84,0 $P_{(W-M-W)} = 0,72^*$	n = 8 87,6 ± 6,55 78,3–96,9 $P_{(W-M-W)} = 0,23^*$	$P_{(K-W)} = 0,54$
HbA1c ≤ 8,0, %	n = 4 89,5 ± 10,95 73,4–105,6	n = 15 76,6 ± 5,65 68,3–84,8	n = 5 88,4 ± 9,79 73,9–102,7	$P_{(K-W)} = 0,50$
HbA1c > 8,0, %	n = 14 80,6 ± 5,08 73,4–87,8 $P_{(W-M-W)} = 0,45^*$	n = 27 78,9 ± 3,65 73,7–84,1 $P_{(W-M-W)} = 0,56^*$	n = 17 81,3 ± 4,61 74,7–87,8 $P_{(W-M-W)} = 0,84^*$	$P_{(K-W)} = 0,97$
ТП	n = 13 89,5 ± 5,01 82,3–96,6	n = 24 77,2 ± 3,69 71,9–82,5	n = 5 116,3 ± 8,1 104,7–127,8	$P_{(K-W)} = 0,003$
ІТ	n = 5 64,8 ± 6,7 55,2–74,4 $P_{(W-M-W)} = 0,01^*$	n = 18 79,3 ± 3,5 74,2–84,3 $P_{(W-M-W)} = 0,53^*$	n = 17 73,1 ± 3,6 67,9–78,3 $P_{(W-M-W)} = 0,001^*$	$P_{(K-W)} = 0,12$

Примітки: $P_{(K-W)}$ — вірогідність із застосуванням критерію Крускала — Уолліса при порівнянні між стадіями ДР; $P_{(W-M-W)}$ — вірогідність із застосуванням критерію Уїлкоксона — Манна — Уїтні; * — при порівнянні за статтю, віком і ступенем компенсації ЦД на різних стадіях ДР.

Таблиця 9. Tests of Between-Subjects Effects для оцінки співвідношення АРО J сироватки крові, стадії ДР та виду антидіабетичного лікування

Source	F-критерій	Рівень значущості відмінності, Р
ДР	6,141	0,003
Вид антидіабетичного лікування	24,716	< 0,001
ДР — вид антидіабетичного лікування	11,457	< 0,001

Примітка: F — критерій Фішера.

Обговорення

У клінічній діабетології й офтальмології обговорюється роль АРО J при захворюваннях очей, викликаних ЦД 2-го типу й ожирінням [12]. Показано, що рівні АРО J мали тенденцію до нижчих значень у дітей і підлітків із ЦД 1-го типу або ожирінням, негативно корелювали з функцією нирок при діабетичній нефропатії [13]. Розглядається роль АРО J як антиапоптичного фактора глії при формуванні діабетичного макулярного набряку [14]. З огляду на власні дані щодо концентрації АРО J сироватки крові у хворих на ЦД 2-го типу, особливо врали-вим можна назвати такі групи пацієнтів із ДР: чоловіки віком > 65 років і жінки віком ≤ 65 років, пацієнти на препроліферативній стадії ДР, які приймають ТП, та пацієнти на непроліферативній і проліферативній стадії ДР, що отримують інсулінотерапію. Окремо в наших дослідженнях ми вивчали показники концентрації АРО J у хворих із ДР залежно від виду антидіабетичного лікування, оскільки інсулінотерапія, з одного боку, справляє позитивний ефект на стан компенсації вуглеводного обміну та перебіг ЦД, а з іншого — через IGF-1 (соматомедин), що виробляється у печінці під впливом інсуліну, чинить позитивний анаболічний ефект і впливає на (нео)васкуляризацію сітківки ока [15]. Показано вірогідно більший (P < 0,01) рівень АРО J сироватки крові у пацієнтів, що приймають ТП, порівняно з ІТ, можливо, за рахунок меншого ушкодження ГРБ у цій когорті хворих. Так, деякими науковцями на основі літературних даних і власних досліджень зроблено висновок щодо цитопротекторної ролі АРО J: в ендотеліальних клітинах сітківки він виконує захисну функцію для ГРБ, надає нейропротекторний ефект, запобігає розщепленню та руйнуванню ГБР. Автори вказують, що у перспективі можливе місцеве застосування АРО J для профілактики ушкодження ГРБ, викликаного ЦД 2-го типу [10]. Отримані результати дають можливість говорити про участь АРО J у патогенезі діабетичних уражень сітківки (ДР) саме із урахуванням факторів прогресування ДР.

Висновки

1. Вірогідна (P = 0,003) залежність вмісту АРО J від стадії ДР виникає при урахуванні (стандартизації) за видом антидіабетичного лікування.

2. Вік пацієнтів є більш впливовим чинником прогресування ДР із урахуванням концентрації АРО J порівняно зі статтю, терміном ЦД та вмістом HbA1c.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Джерелом фінансування є МОЗ України. Робота була фрагментом НДР за номером держреєстрації 0119U003575 «Оптимізація діагностики, лікування та профілактики розвитку дегенеративних та запальних захворювань органу зору» кафедри офтальмології Одеського національного медичного університету МОЗ України.

Список літератури

1. Kalyani RR, Neumiller JJ, Maruthur NM, Wexler DJ. *Diagnosis and treatment of type 2 diabetes in adults: a review. JAMA.* 2025;334(11):984-1002. doi: 10.1001/jama.2025.5956.

2. Flaxel CJ, Adelman RA, Bailey ST, et al. *Diabetic retinopathy preferred practice pattern. Ophthalmology.* 2020;127(1):66-145. doi:10.1016/j.opthta.2019.09.025.

3. Ren J, Zhang S, Pan Y, et al. *Diabetic retinopathy: Involved cells, biomarkers, and treatments. Front Pharmacol.* 2022;13:953691. doi: 10.3389/fphar.2022.953691.

4. Antonetti DA, Silva PS, Stitt AW. *Current understanding of the molecular and cellular pathology of diabetic retinopathy. Nat Rev Endocrinol.* 2021;17:195-206. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-00451-4>.

5. Gross C, Guérin L-P, Socol BG, Germain L, Guérin SL. *The Ins and Outs of Clusterin: Its Role in Cancer, Eye Diseases and Wound Healing. International Journal of Molecular Sciences.* 2023;24(17):13182. <https://doi.org/10.3390/ijms241713182>.

6. Kim YS, Kim YH, Cheon EW, et al. *Retinal expression of Apo Jsterin in the streptozotocin-induced diabetic rat. Brain Res.* 2003;76(1):53-59. doi: 10.1016/s0006-8993(03)02636-2.

7. Wang H, et al. *Characterisation of the vitreousproteome in proliferative diabetic retinopathy. Proteome Science.* 2012;10(1):15. doi: 10.1186/1477-5956-10-15.

8. Fayed Safa S. *Evaluation of Serum Apo Jsterin Levels in Type 2 Diabetic Men with and without Cardiovascular Disease. Iraqi Journal of Science.* 2020;61(5):978-984. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2020.61.5.5>.

9. Head J, Shen D, Zhou M, Garfinkel RA, Chan C-C. *Expression of Apo Jsterin and VEGF in Diabetic Retinopathy. IOVS.* 2007;48(13):4976. <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2387648>.

10. Wilson MR, Satapathy SJ, Shinwu, Fini ME. *Apo Jsterin, other extracellular chaperones, and eye disease. Progress in Retinal and Eye Research.* 2022;89:101032. <https://doi.org/10.1016/j.pretyeres.2021.101032>.

11. American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. *Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes. Diabetes Care.* 2026;49:132-149. <https://doi.org/10.2337/dc26-S006>.

12. de Campos TDP, da Cruz Rodrigues K, Pereira RM, et al. *The protective roles of Apo Jsterin in ocular diseases caused by obesity and*

diabetes mellitus type 2. *Mol Biol Rep.* 2021;48:4637-4645. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06419-5>.

13. Kostopoulou E, Kalavrizioti D, Davoulou P, et al. Monocyte Chemoattractant Protein-1 (MCP-1), Activin-A and Apo Jsterin in Children and Adolescents with Obesity or Type-1 Diabetes Mellitus. *Diagnostics.* 2024;14(4):450. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040450>.

14. Suk SA, Rykov SO, Kyryliuk ML. The role of Apo Jsterin as an antiapoptotic glial factor in the development of diabetic ma-

chular edema in patients with type 2 diabetes mellitus. *Archive of Ukrainian Ophthalmology.* 2019;7(2):30-35. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.22141/2309-8147.7.2.2019.169686>.

15. Werner H. The IGF1 Signaling Pathway: From Basic Concepts to Therapeutic Opportunities. *Int J Mol Sci.* 2023;24(19):14882. doi: 10.3390/ijms241914882.

Отримано/Received 01.06.2026

Рецензовано/Revised 08.07.2026

Прийнято до друку/Accepted 02.09.2026 ■

Information about authors

Anna Venger, PhD-student, Department of General, Pediatric, Military Surgery and Ophthalmology, Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine; e-mail: midorinome01@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-3428-5572>

Conflicts of interests. Author declares the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The source of funding is the Ministry of Health of Ukraine. The work was a fragment of the research project No. state registration 0119U003575 "Optimization of diagnostics, treatment and prevention of the development of degenerative and inflammatory diseases of the organ of vision" of the Department of Ophthalmology of the Odessa National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine.

A.Yu. Venger

Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

Prognostic value of apolipoprotein J in assessing the risk of progression of diabetic retinopathy depending on modifying factors

Abstract. Background. The chemokine apolipoprotein (APO) is a significant factor influencing the state of the blood-retinal barrier; determining its role in the pathogenesis of diabetic retinopathy (DR) may assist in the prognostic assessment of the disease course. This study aimed to evaluate the prognostic significance of APO J in assessing the risk of DR progression depending on stage and modifying factors. **Materials and methods.** The study was conducted in 114 adults (212 eyes) with type 2 diabetes, their average age was 62.92 ± 3.90 years, duration of diabetes was 14.82 ± 2.45 years, the average HbA1c content was 9.20 ± 0.83 %. There were 27 participants with stage I DR, 54 with stage II DR, and 33 with stage III DR. Serum level of the chemokine APO J was determined using a human APO J (clusterin) ELISA kit. **Results.** A significant increase in serum APO J concentration ($P = 0.003$) was observed in patients with type 2 diabetes — depending on the type of antidiabetic treat-

ment — as the condition progressed from the non-proliferative to the proliferative stage of DR in the group receiving oral medication. When comparing patients across DR stages, a significant decrease in the concentration of this chemokine was found at both the non-proliferative ($P = 0.01$) and proliferative ($P = 0.001$) stages of DR in the group receiving injectable therapy. Two-factor regression analysis (Tests of Between-Subjects Effects), standardized for the type of antidiabetic treatment, revealed a significant association between APO J levels and the stage of DR ($P = 0.003$). **Conclusions.** A significant dependence of APO J content on the stage of DR ($P = 0.003$) was found during standardization by the type of antidiabetic treatment. The age of patients was a more influential modifying factor for DR progression taking into account APO J.

Keywords: diabetic retinopathy; type 2 diabetes mellitus; apolipoprotein J; risk factors; prognosis

УДК 617.731-001.31-036-053.2:616-001.34

DOI: <https://doi.org/10.22141/aomfs.3.1.2026.49>Бездітко П.А.¹, Мужичук О.П.², Нікітіна О.С.², Боєва Ю.Ю.¹,
Гончарь О.М.¹, Панченко М.В.¹, Павлюченко О.С.²¹ Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна² КНП «Міська клінічна багатопрофільна лікарня № 17» ХМР, м. Харків, Україна

Травматична оптична нейропатія при мінно-вибуховій травмі: особливості патогенезу зсувної деформації та клінічний випадок відновлення зорових функцій у дитини

Резюме. Актуальність. В умовах повномасштабної війни в Україні мінно-вибухова травма (МВТ) стала поширеною причиною тяжкої інвалідизації як військового, так і цивільного населення. Одним із найскладніших і прихованих ускладнень МВТ є травматична оптична нейропатія. Пошкодження внутрішньоканального сегмента зорового нерва та зсувні деформації (shear injury) на рівні решітчастої пластинки склери часто розвиваються за відсутності видимих анатомічних руйнувань очного яблука, що суттєво ускладнює своєчасну діагностику та погіршує зоровий прогноз. **Мета:** патофізіологічно обґрунтувати механізми первинного та вторинного контузійного пошкодження зорового нерва при МВТ (зокрема, компартмент-синдрому та зсувних деформацій аксонів) і продемонструвати регенераторний потенціал зорової системи у дитячому віці на прикладі успішної клінічної реабілітації. **Клінічний випадок.** Описано випадок успішного лікування 13-річного хлопчика з Харкова, який зазнав тяжкої контузії заднього полюса обох очей внаслідок МВТ. При первинному огляді на 4–5-ту добу гострота зору становила 0,1–0,3. Відзначалося концентричне звуження полів зору, масивний промінучий набряк дисків зорових нервів і перипапільні геморагії на тлі збережених зіничних реакцій. За даними магнітно-резонансної та оптичної когерентної томографії верифіковано виражений ретробульбарний набряк без розриву волокон. Призначення комплексної патогенетичної терапії (системні кортикостероїди, нейро- та ретинопротектори) дозволило вивести аксони зі стану парабіозу. Через 2 місяці гострота зору відновилася до 0,8–0,9, поля зору повністю нормалізувалися. На очному дні сформувалася чітка зона конічної перипапільної атрофії (1–2 мм) як патогномонічний слід перенесеної зсувної деформації тканин. **Висновки.** Контузійна МВТ зорового нерва вимагає негайної ургентної діагностики (комп'ютерна/оптична когерентна томографія) і диференційованого підходу. Дитяча зорова система має високу пластичність цитоскелета аксонів та еластичність решітчастої пластинки, що при своєчасному початку високодозної протинабрякової та нейропротекторної терапії забезпечує оборотність функціонального блоку (парабіозу) волокон і високий рівень відновлення зору.

Ключові слова: мінно-вибухова травма; травматична оптична нейропатія; зсувна деформація; решітчаста пластинка; компартмент-синдром; діти; нейропротекція

Вступ

Повномасштабна війна в Україні радикально змінила структуру не тільки військової, але й цивільної медичної допомоги. Сьогодні зона ураження виходить далеко за межі лінії бойового зіткнення: систематичні удари безпілотних літальних апаратів, керованих авіа-

бомб і балістичних ракет перетворили мирні українські міста і села на зони підвищеного травматичного ризику. Мінно-вибухова травма (МВТ), як це не жахливо звучить, стала новою повсякденною реальністю для цивільного населення. В епіцентрі ураження опиняються найбільш уразливі групи — солдати, діти та люди

© «Архів офтальмології та щелепно-лицьової хірургії України» / «Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine», 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Боєва Юлія Юріївна, асистент, кафедра офтальмології, Харківський національний медичний університет, просп. Науки, 4, м. Харків, 61022, Україна; e-mail: boievayulii435@gmail.com

For correspondence: Yuliia Boieva, Assistant, Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Nauky ave., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine; e-mail: boievayulii435@gmail.com

Full list of authors information is available at the end of the article.

літнього віку. Офтальмологічні наслідки МВТ характеризуються крайньою поліморфністю та непередбачуваністю, часто маніфестуючи як тяжка політравма органа зору, що призводить до інвалідизації та безповоротної сліпоти. Якщо пошкодження переднього відрізка ока є клінічно очевидними, то патологія заднього полюса, зокрема контузійні пошкодження зорового нерва, часто залишаються прихованою загрозою. Травматична оптична нейропатія (ТОН) при МВТ здатна розвиватися без видимого порушення анатомічної цілісності очного яблука, що суттєво ускладнює своєчасну діагностику та ставить під загрозу зоровий прогноз пацієнтів.

ТОН є одним із найбільш інвалідизуючих ускладнень закритої черепно-мозкової та щелепно-лицьової травми. За даними літератури, вона діагностується у 0,7–2,5 % постраждалих і традиційно класифікується на пряму та непряму форми [6]. Пряма ТОН зазвичай є наслідком безпосереднього механічного контакту: розсічення або розриву зорового нерва гострими кістковими уламками, сторонніми тілами або зміщеними фрагментами перелому при краніоорбітальних пошкодженнях [1, 12]. Ця форма відрізняється миттєвим настанням сліпоти та вкрай несприятливим зоровим прогнозом. Навпаки, непряма ТОН розвивається внаслідок трансляції кінетичної енергії тупого удару по голові або обличчю через м'які тканини та кістки лицевого скелета безпосередньо на структури зорового нерва [5]. Підступність непрямої ТОН полягає в тому, що втрата зору може маніфестувати як одразу після травми, так і через кілька тижнів або навіть місяців [4]. Такий відтермінований характер клінічних проявів часто призводить до пізньої діагностики й упущення «золотого вікна» для ефективного лікування. Залежно від локалізації патологічного процесу пошкоджені можуть бути різні сегменти зорового нерва: внутрішньоочний, внутрішньоорбітальний, внутрішньоканальний або внутрішньочерепний [4]. Анатомічними провідниками тупої травми виступають верхівка орбіти та зоровий канал [9]. Безумовно, пошкодження орбітальних стінок і внутрішньоорбітальні гематоми суттєво підвищують ризик травматизації навіть захищеного своєю S-подібною формою орбітального відділу зорового нерва. Проте у цих випадках патологічні зміни анатомічно цілісного зорового нерва зумовлені переважно каскадом вторинних факторів — гострою ішемією, наростаючим набряком і запуском апоптозу гангліозних клітин сітківки (ГКС) [11].

Найбільш вразливим до непрямого пошкодження традиційно вважається внутрішньоканальний сегмент, де нерв жорстко зафіксований у вузькому кістковому тунелі довжиною 5–6 мм [7]. Проте на особливу увагу заслуговує ще одна критична зона — ділянка решітчастої пластинки склери, де зоровий нерв безпосередньо виходить із очного яблука. Саме на цьому рівні в момент контузії виникає первинне пошкодження, зумовлене зсувною деформацією (*shear injury*). Різде зміщення сітківки та внутрішньоочних середовищ відносно фіксованого стовбура нерва призводить до мікронадривів і критичного зсуву аксонів ГКС. Цей механічний стрес запускає каскад програмованої клітинної смерті,

внаслідок чого понад 80 % ГКС гине вже протягом першого місяця [11]. Услід за первинним пошкодженням неминуче розвивається вторинне. Воно реалізується через компресійно-ішемічний механізм: прогресуючий набряк зорового нерва у замкнутому просторі (кістковому каналі або оболонках) і рефлекторний спазм судин мікроциркуляторного русла призводять до критичної ішемії волокон, які ще зберегли життєздатність [11]. Розуміння цих тонких патофізіологічних механізмів стало основою для створення експериментальних тваринних моделей ТОН, які дозволяють детально вивчати динаміку нейродегенерації та шукати нові шляхи нейропротекції [3].

Особливості пошкодження зорового нерва у внутрішньоканальному сегменті

Пошкодження зорового нерва в оптичному каналі є вкрай небезпечним патологічним станом, що найчастіше виникає внаслідок тяжкої черепно-мозкової або МВТ (задня ТОН) [2]. Головна анатомічна особливість цієї зони полягає в тому, що кістковий канал є вузьким і абсолютно нееластичним простором. У ньому нерв щільно зрощений із твердою мозковою оболонкою, тож навіть мінімальний набряк або гематома призводять до критичного стискання (компресії) волокон, гострої ішемії та швидкої, часто необоротної втрати зору. Досліджуючи наслідки закритої черепно-мозкової травми, M.R. Crompton виявив крововиливи в оболонку зорового нерва у 83 % випадків, у нервовий інтерстицій — у 36 %, ішемічний некроз у внутрішньоканальних і внутрішньочерепних сегментах — у 44 % зі 174 померлих пацієнтів [2].

Ключові патофізіологічні особливості цього типу ураження включають такі чинники [10, 12]:

1) жорстку анатомічну фіксацію та відсутність амортизації. В оптичному каналі зоровий нерв зафіксований нерухомо. На відміну від орбітальної частини, де нерв має S-подібний вигин і запас ходу, тут він позбавлений будь-якої рухливості. Будь-яке зміщення кісткових стінок, набряк або крововиливи у міжоболонковий простір зорового нерва миттєво призводять до механічного роздавлювання нервових волокон;

2) синдром замкненого простору (внутрішньоканальний компартмент-синдром). Оскільки стінки каналу є кістковими та нездатні до розширення, виникнення набряку або гематоми всередині тунелю призводить до стрімкого зростання тканинного тиску. Внаслідок цього капіляри та судини, що живлять нерв, повністю перетискаються, викликаючи гострий інфаркт (ішемічний некроз) зорового нерва;

3) приховану первинну клінічну картину. У перші дні (і навіть тижні) після травми під час огляду очного дна (офтальмоскопії) диск зорового нерва (ДЗН) виглядає абсолютно здоровим, рожевим і з чіткими межами. Це зумовлено тим, що вогнище пошкодження розташоване ретробульбарно — далеко за межами очного яблука. Ознаки висхідної атрофії (деколюрація або збліднення ДЗН) з'являються лише через 3–6 тижнів, коли провідні волокна вже безповоротно загинули;

4) ефект «ножиць» (синдром Пріорі/shear injury). При ударі в ділянку лоба або вилиці (наприклад, під час вибуху чи падіння) кінетична енергія фокусується і передається безпосередньо на стінки оптичного каналу. Кісткові структури можуть залишатися непошкодженими (непряма травма), проте нерв усередині каналу зазнає критичного струсу або мікророзривів волокон через векторне зміщення тканин.

Клінічні симптоми ураження внутрішньоканального сегмента:

1. Раптове і значне зниження гостроти зору (аж до повної сліпоти), що виникає безпосередньо в момент травми або прогресує протягом кількох годин.

2. Відносний аферентний зіничний дефект (феномен Маркуса Гунна): пряма реакція ураженого ока на світло млява або повністю відсутня (зіниця не звужується при освітленні), проте співдружна реакція (звуження ураженої зіниці при освітленні здорового ока) залишається збереженою.

3. Виражені дефекти полів зору у вигляді абсолютних/відносних скотом або різкого концентричного звуження меж.

4. Суттєве порушення колірного сприйняття (переважно у червоно-зеленому спектрі).

Внаслідок первинного пошкодження внутрішньоканальний сегмент зорового нерва є надзвичайно схильним до розвитку вторинних патологічних змін. Замкнутий простір кісткового тунелю робить цю зону критичною для розвитку набряку та мікрогематом, що неминуче призводить до прогресуючої ішемії та формування компартмент-синдрому.

Особливості діагностики та лікування [8, 10].

1. Пріоритет КТ перед МРТ при гострій травмі. КТ з тонкими зрізами (до 1 мм) зони орбіт та основи черепа є золотим стандартом обстеження. Вона дозволяє верифікувати мікротріщини стінок оптичного каналу та наявність кісткових уламків, що здавлюють нерв і часто не візуалізуються на МРТ.

2. Фактор часу. Загибель аксонів в умовах тотальної ішемії та компресії відбувається стрімко. Вікно терапевтичних можливостей обмежене першими годинами або добами з моменту травми.

3. Медикаментозна декомпресія. Застосовують негайне системне введення надвисоких доз кортикостероїдів (пульс-терапія метилпреднізолоном) для швидкого купірування набряку, зменшення спазму судин і зниження тиску всередині кісткового каналу.

4. Хірургічна декомпресія. Якщо за даними КТ підтверджено перелом стінок каналу зі зміщенням кісткових уламків або якщо масивна медикаментозна терапія не дає клінічного ефекту, ендоскопічним трансназальним або транскраніальним шляхом виконують хірургічне розкриття оптичного каналу для ревізії та декомпресії нерва.

Таким чином, пошкодження зорового нерва у внутрішньоканальному сегменті є ургентною нейроофтальмологічною патологією. Його головна небезпека полягає у прихованому розвитку необоротної ішемії нерва у вузькому кістковому просторі на тлі початково незмінної офтальмоскопічної картини очного дна.

Патоморфологічні особливості зсувного пошкодження на рівні решітчастої пластинки

Зсувне пошкодження (*shear injury*) зорового нерва на рівні решітчастої пластинки (*lamina cribrosa*) є специфічним видом гострої механічної травми, що виникає внаслідок різкого прискорення або гальмування голови (зокрема, при мінно-вибухових процесах, падіннях чи автодорожніх катастрофах). Головна анатомічна особливість цієї зони полягає в тому, що саме тут зоровий нерв переходить із відносно рухливого середовища очного яблука у жорстко зафіксований склеральний канал. Під час кінетичного удару виникає ефект зрізання або перекручування, який призводить до мікроструктурного пошкодження аксонів (нервових волокон) і капілярів безпосередньо у місці їхнього виходу з ока. Критичне значення решітчастої пластинки як зони найменшого опору зумовлене такими факторами:

1) градієнтом рухливості та тиску на межі середовищ. Решітчаста пластинка є ситоподібною структурою склери, крізь мікроотвори якої проходять пучки зорового нерва. Вона виступає анатомічною межею між високим внутрішньоочним тиском і значно нижчим ретробульбарним тиском. Внутрішньоочна частина нерва зміщується синхронно з рухом очного яблука, тоді як за межами решітчастої пластинки нерв покривається мозковими оболонками та фіксується у ретробульбарній клітковині. При різкому інерційному русі голови очне яблуко зміщується швидше, ніж ретробульбарний відділ нерва, що викликає векторну деформацію зсуву (*shear force*) на межі цих двох зон, деструкцію аксонів і фокальну демієлінізацію волокон;

2) гістологічним переходом структури волокон. Саме на рівні решітчастої пластинки безмієлінові волокна сітківки починають покриватися мієліновою оболонкою, яку синтезують олігодендроцити. Цей перехід тонких безмієлінових аксонів у значно товстіші мієлінізовані волокна створює різку зміну щільності тканини. Означена гістологічна межа є структурно крихкою та найбільш вразливою до динамічних деформацій на зсув під впливом вибухової хвилі.

Клініко-діагностичні особливості та терапевтичний менеджмент

На відміну від уражень у внутрішньоканальному сегменті, травма на рівні решітчастої пластинки локалізована безпосередньо біля заднього полюса ока, що кардинально змінює клінічну картину та полегшує первинну візуалізацію [2, 12]:

1. Миттєва та глибока втрата зору. Через масивну механічну деструкцію провідних шляхів гострота зору зазвичай знижується до повної сліпоти (*amaurosis*) або рівня світловідчуття безпосередньо в момент травми.

2. Ранні патогномонічні зміни на очному дні. Протягом перших годин після контузії спостерігається виражений проминучий набряк ДЗН. Характерною ознакою є штрихоподібні або полум'яподібні перипаплярні крововиливи на самому диску та навколо нього, що виникають внаслідок розриву капілярів і

дрібних гілок центральних судин сітківки через силу зсуву. При повному відриві (*авульсії*) нерва може візуалізуватися ефект «западання» або ретракції тканин диска назад в орбіту.

3. Різко позитивний відносний аферентний зіничний дефект (феномен Маркуса Гунна). Уражене око практично не реагує на пряме світло, але зберігає співдружну реакцію.

Особливості діагностики

1. Офтальмоскопія й оптична когерентна томографія (ОКТ) є золотим стандартом, оскільки вогнище ураження доступне для прямого оптичного огляду. ОКТ дозволяє детально і пошарово оцінити ступінь деструкції решітчастої пластинки, архітектоніку нейроретинального пояса та динаміку набряку.

2. МРТ орбіт високої роздільної здатності дозволяє виявити потовщення або розрив оболонки нерва безпосередньо у місці його входження в склеру, а також наявність гематом в підоболонковому (субаракноїдальному) просторі.

3. УЗД очного яблука (В-сканування) є незамінним методом для підтвердження або виключення авульсії зорового нерва у випадках, коли оптичні середовища ока (кришталік, склоподібне тіло) стають непрозорими через супутній масивний крововилив (гемофтальм).

Лікування та прогноз

Прогноз при класичних зсувних пошкодженнях на цьому рівні традиційно вважається вкрай несприятливим, оскільки розірвані аксони центральної нервової системи не здатні до спонтанної регенерації.

1. Медикаментозна терапія. Призначення системних кортикостероїдів спрямоване переважно на швидке купірування вторинного набряку, поліпшення мікроциркуляції та збереження тих провідних волокон, які зазнали лише функціонального стресу (парабіозу), а не анатомічного розриву. Проте її ефективність при повних анатомічних зсувах є суттєво нижчою, ніж при компресійних процесах в оптичному каналі.

2. Хірургічне лікування на рівні решітчастої пластинки не проводиться, оскільки тут немає можливості виконати кісткову декомпресію або провести мікрохірургічне зшивання розірваних аксонів.

Проте кожна травма в умовах реальної мінно-вибухової атаки є індивідуальною, а регенераторний потенціал організму, особливо в дитячому віці, здатний спростовувати найгірші клінічні прогнози. На підтвердження цього наводимо унікальне клінічне спостереження з досвіду кафедри офтальмології Харківського національного медичного університету та КНП «Міська клінічна багатопрофільна лікарня № 17» ХМР (лікарня ім. проф. Л.Л. Гіршмана, м. Харків).

Клінічне спостереження.

Пацієнт: хлопчик, 13 років. **Анамнез:** доставлений до спеціалізованої клініки м. Харкова після перенесеної МВТ, політравми та тяжкої акубаротравми внаслідок ворожого обстрілу житлових кварталів. Перші 3–4 доби

після поранення пацієнт перебував на етапі загальної стабілізації та інтенсивного лікування у відділенні нейрохірургії. Офтальмологічний огляд проведено тільки на 4–5-ту добу після травми.

Первинний офтальмологічний статус:

1. **Гострота зору** знижена на обох очах. VOD — 0,1; VOS — 0,3, не коригується.

2. **Поля зору** — виражене концентричне звуження меж полів зору на обох очах.

3. **Окоруховий апарат** — рухи очних яблук збережені в повному обсязі.

4. **Зіничні реакції** — пряма і співдружна реакції зіниць на світло збережені, явного відносного аферентного зіничного дефекту не виявлено.

5. **Тонометрія** — внутрішньоочний тиск (ВОТ) в межах вікової норми (ТОД — 16 мм рт.ст.; ТОС — 17 мм рт.ст.) на обох очах.

6. **Офтальмоскопія** — на очному дні обох очей візуалізувався виражений промінучий набряк ДЗН, змазаність їх контурів. По периферії ДЗН визначалися множинні перипаплярні крововиливи (геморагії) різної інтенсивності. Клінічна картина симулювала часткове ротаційне зміщення ДЗН.

7. **Інструментальні дослідження.** ОКТ підтвердила наявність вираженого набряку зорового нерва. МРТ орбіт (проведення в нейрохірургічному стаціонарі) не виявила ознак анатомічного розриву чи перериву цілісності зорового нерва, проте зафіксувала суттєвий набряк та інфільтрацію його тканин безпосередньо в місці виходу з очного яблука в обох очах, а також ознаки набряку ДЗН.

Лікування та динаміка спостереження. Пацієнту було призначено курс комплексної патогенетичної терапії, яка включала системні кортикостероїди (для негайного купірування травматичного набряку та судинного спазму), а також таргетні нейро- та ретинопротектори.

Через 2 місяці після початку лікування відзначено колосальну позитивну динаміку з практично повним відновленням зорових функцій:

1. **Гострота зору** підвищилася до 0,8 у правому оці та до 0,9 у лівому.

2. **Поля зору.** Повне відновлення периферичних меж, концентричні обмеження та скотоми повністю відсутні. Є ознаки розширення сліпої плями.

3. **Офтальмоскопія в динаміці.** Набряк ДЗН повністю регресував, крововиливи розсмокталися. Тканина дисків набула звичайного блідо-рожевого кольору, їхні контури стали чіткими, але зоровий нерв мав такий вигляд, ніби зміщений вглиб очного яблука.

4. **Патогномонічний наслідок травми.** По всьому периметру обох зорових нервів сформувалася чітка, стійка зона конічної перипаплярної атрофії світло-коричневого кольору шириною від 1 до 2 мм.

При скануванні ДЗН по всьому периметру візуалізується чітко відмежована, стійка зона перипаплярної хоріоретинальної атрофії (відповідає клінічній бета-/гамма-зоні атрофії) завширшки від 1,0 до 2,0 мм, що має конічний профіль зі зміщенням до склерального кільця. У зоні атрофії відзначається стоншення

пігментного епітелію сітківки та хоріокапілярів. Оголення підлеглого комплексу «мембрана Бруха — склера» та стоншення шару ретинальних нервових волокон (RNFL), комплексу ГКС на цій ділянці. Архітектура шарів сітківки за межами зони атрофії відносно збережена. Екскавація ДЗН мілка, нейроретинальний поясок диференціюється. Профіль макулярної зони без особливостей.

Патофізіологічний аналіз клінічного спостереження

Наведений клінічний випадок наочно підтверджує кілька найважливіших теоретичних аспектів контузійної МВТ зорового нерва у дітей, демонструючи контраст між руйнівною силою вибуху та високим компенсаторним потенціалом молодого організму.

Що відбувалося на очному дні пацієнта? При тяжкій контузії заднього полюса ока первинна офтальмоскопічна картина «зміщення» нерва або його диска зазвичай зумовлена трьома паралельними процесами, які макроскопічно імітують деструкцію, але залишають шанс на відновлення функцій:

1) субклінічною люксацією (мікрозміщенням) у склеральному кільці без анатомічного розриву. Тканинні структури у дітей мають високу еластичність. У момент впливу вибухової хвилі виник критичний вектор натягу, внаслідок чого ДЗН разом із перипапільною сітківкою зазнав короточасного зміщення та ротації. Проте завдяки гнучкості дитячої решітчастої пластинки аксони лише перерозтягнулися, але уникнули анатомічного перериву;

2) масивним асиметричним перипапільним набряком і геморагією. Потужний гідродинамічний удар викликав локальне відшарування та зміщення шарів сітківки безпосередньо біля краю ДЗН, що супроводжувалося розривами дрібних перипапільних капілярів і гілок центральних судин сітківки. Офтальмоскопічно це створювало помилкову картину того, ніби весь диск «з'їхав» убік на тлі вираженої проміненції;

3) формуванням зони конічної перипапільної атрофії. Поява стійкого світло-коричневого кільця завширшки 1–2 мм по периметру ДЗН через два місяці є класичним наслідком перенесеної зсувної деформації (*shear injury*). Це зона, де в момент максимального натягу тканин під час вибуху відбулося локальне відшарування та реактивна пігментна дегенерація ретинального пігментного епітелію і хоріокапілярів. Водночас збереження чітких меж ДЗН і його звичайного кольору доводить, що основний центральний пучок аксонів успішно зберіг свою цілісність.

Фактори успішного відновлення зорових функцій. Повернення гостроти зору з 0,1 до 0,9 та повне відновлення меж полів зору стало можливим завдяки поєднанню своєчасної терапії й унікальних вікових особливостей пацієнта, як-от:

1. «Оглушення» волокон замість розриву (парабіоз). Збереження зіничних реакцій при первинному огляді вказувало на те, що магістральна провідність не порушена повністю. Мав місце глибокий функціональний

блок — парабіоз волокон, спричинений інерційним розтягненням і компресією нерва набряклими оболонками у зоні решітчастої пластинки.

2. Висока пластичність дитячого цитоскелета. Аксони ГКС у дітей містять значно більше функціональних мікротрубочок, що забезпечує їм високу резистентність до механічних навантажень. Там, де у дорослого пацієнта при аналогічній деформації зсуву стався б необоротний надрид волокон, у дитини аксони увійшли в стан оборотного функціонального шоку.

3. Регенерація аксоплазматичного транспорту. Адекватне та раннє призначення системних кортикостероїдів у поєднанні з нейро- та ретинопротекторами дозволило швидко ліквідувати перипапільний набряк та ішемію. Внаслідок цього надефективний у дитячому віці аксоплазматичний транспорт білків і поживних речовин від сітківки до головного мозку повністю відновився, вивівши клітини з анабіозу.

4. Центральна нейрокомпенсація. Дитячий мозок має унікальну здатність компенсувати втрату частини провідних шляхів. Навіть якщо певний відсоток волокон після зсуву зазнав апоптозу, нейропластичність зорової кори та переструктурування виживших аксонів дозволили максимально нівелювати дефекти та повністю відновити поле зору.

Висновки

1. Мультифакторність патогенезу. Контузійні пошкодження зорового нерва (ТОН) при МВТ є складним акубародинамічним комплексом. На відміну від ізолюваної цивільної травми, військово-польова МВТ поєднує в собі пряму балістичну дію осколків, гідродинамічний удар внутрішньоочних середовищ та інерційне натягнення нерва, зумовлене надлишковим тиском вибухової хвилі.

2. Критичне значення внутрішньоканального сегмента. Найбільш уразливою зоною при непрямій контузії зорового нерва є його внутрішньоканальний відділ. Анатомічна фіксація нерва у кістковому оптичному каналі довжиною 5–6 мм зумовлює розвиток внутрішньоканального компартмент-синдрому. Навіть мікроскопічний набряк оболонок у замкнутому кістковому просторі запускає порочне коло: *ішемія — блок аксоплазматичного транспорту — глутаматна ексайтотоксичність — апоптоз аксонів*, що може призводити до повної втрати зору навіть за умов початкової анатомічної цілісності очного яблука та відсутності змін на очному дні.

3. Зсувна деформація (shear injury) як предиктор пізніх змін. Механічний зсув тіл ГКС відносно їхніх аксонів на рівні решітчастої пластинки склери є провідним фактором пошкодження провідних шляхів без макроскопічного розриву нерва. Патогномонічним результатом перенесеної зсувної деформації є формування хоріоретинальної та пігментної перипапільної атрофії, що відображає зону максимального натягу та пошкодження тканин навколо ДЗН у момент вибуху.

4. Високий регенераторний потенціал у дитячому віці. Наше клінічне спостереження успішного лікування 13-річного пацієнта з Харкова після тяжкої МВТ

доводить, що дитяча зорова система має колосальну еластичність і пластичність цитоскелета аксонів. Початкове глибоке зниження зорових функцій (до 0,1–0,3) і концентричне звуження полів зору при збережених зіничних реакціях свідчить не про анатомічне руйнування, а про оборотний функціональний шок (парабіоз) волокон.

5. Імператив ранньої патогенетичної терапії. Своєчасний початок комплексної терапії, що поєднує системні кортикостероїди (для екстреної медикаментозної декомпресії нерва та зняття вазоспазму) і таргетні нейротретинопротектори, здатний перервати каскадний апоптоз ГКС. У дитячій практиці це дозволяє досягти практично повного відновлення гостроти зору (до 0,8–0,9) та регресу дефектів полів зору, незважаючи на вихідно тяжку офтальмоскопічну картину набряку та перипапільарних геморагій.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом НДР кафедри офтальмології ХНМУ «Особливості змін заднього сегмента ока при тяжкій судинній патології органу зору», номер держреєстрації 0125U001242. Автори є співвиконавцями вказаної теми.

Внесок авторів. Бездітко П.А. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Мужичук О.П. — аналіз даних, написання тексту; Нікітіна О.С., Панченко М.В. — збір матеріалів і аналіз даних; Гончарь О.М. — аналіз даних, концепція і дизайн статті; Боева Ю.Ю. — аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту; Павлюченко О.С. — аналіз даних.

Список літератури

1. Benowitz, L.I., Popovich, P.G. Inflammation and axon regeneration. *Current Opinion in Neurology*. 2011;24(6):577–583. doi.org: 10.1097/WCO.0b013e32834c208d.
2. Chen, B., Zhang, H., Zhai, Q., Li, H., Wang C., Wang, Y. Traumatic optic neuropathy: a review of current studies. *Neurosurgical Review*. 2022;45(3):1895–1913. doi.org: 10.1007/s10143-021-01717-9.

3. Coghill, T.H., Moore, E.E., Meissner, M., Moore, F.A., Morris, J.A., Shackford, S.R., et al. (1994). The spectrum of blunt injury to the carotid artery: a multicenter perspective. *Journal of Trauma*. 1994;37(3):473–479. doi.org: 10.1097/00005373-199409000-00024.
4. Duan, X., Qiao, M., Bei, F., Kim, I.J., He, Z., Sanes, J.R. (2015). Subtype-specific regeneration of retinal ganglion cells following axotomy: effects of osteopontin and mTOR signaling. *Neuron*. 2015;85(6):1244–1256. doi.org: 10.1016/j.neuron.2015.02.017.
5. Fontaine, V., Mohand-Said, S., Hanoteau, N., Fuchs, C., Pfizenmaier, K., & Eisel, U. Neurodegenerative and neuroprotective effects of tumor necrosis factor (TNF) in retinal ischemia: opposite roles of TNF receptor 1 and TNF receptor 2. *Journal of Neuroscience*. 2002;22(7):1–7. doi.org: 10.1523/JNEUROSCI.22-07-j0001.2002.
6. Levin, L.A., Beck, R.W., Joseph, P.M., O'Brien, S., Ostrovsky, R., Krasnitsky, R. The treatment of traumatic optic neuropathy: the International Optic Nerve Trauma Study. *Ophthalmology*. 1999;106(7):1268–1277. doi.org: 10.1016/S0161-6420(99)90254-0.
7. Moore, D.L., Blackmore, M.G., Hu, Y., Kaestner, K.H., Bixby, J.L., Lemmon, V.P., et al. KLF family members regulate intrinsic axon regeneration ability. *Science*. 2009;326(5950):298–301. doi.org: 10.1126/science.1175737.
8. Morrison, C.S., Taylor, H.O., Sullivan, S.R. Utilization of intraoperative 3D navigation for delayed reconstruction of orbitozygomatic complex fractures. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2013;24(4):e284–e286. doi.org: 10.1097/SCS.0b013e31828f2a71.
9. Qin, S., Zou, Y., Zhang, C.L. Cross-talk between KLF4 and STAT3 regulates axon regeneration. *Nature Communications*. 2013;4(1):Article 2633. doi.org: 10.1038/ncomms3633.
10. Schramm, A., Suarez-Cunqueiro, M.M., Rücker, M., Kokemueller, H., Bormann, K.H., Gellrich, N.C. Computer-assisted therapy in orbital and mid-facial reconstructions. *International Journal of Medical Robotics*. 2009;5(2):111–124. doi.org: 10.1002/rcs.245.
11. Udhay, P., Bhattacharjee, K., Ananthnarayanan, P., Sundar, G. Computer-assisted navigation in orbitofacial surgery. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2019;67(7):995–1003. doi.org: 10.4103/ijo.IJO_807_18.
12. Yu-Wai-Man, P. Traumatic optic neuropathy-clinical features and management issues. *Taiwan Journal of Ophthalmology*. 2015;5(1):3–8. doi.org: 10.1016/j.tjo.2015.01.003.

Отримано/Received 01.06.2026

Рецензовано/Revised 07.07.2026

Прийнято до друку/Accepted 02.09.2026 ■

Information about authors

Pavlo Bezditko, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: pabpoul12@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9147-4310>

Olena Muzhychuk, PhD in Medicine, Associate Professor, Head of the 5th Microsurgical Department of Cataract and Vitreoretinal Pathology, Kharkiv City Clinical Multiprofile Hospital 17, Kharkiv, Ukraine; e-mail: emuzhychuk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-6610-4933>

Olena Nikitina, PhD in Medicine, Head of the Children's Eye Microsurgery Department, Kharkiv City Clinical Multiprofile Hospital 17, Kharkiv, Ukraine; e-mail: 59nikitinaelena@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3241-0816>

Yuliia Boieva, Assistant, Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: boievayuliia435@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8035-8082>

Olena Honchar, PhD in Medicine, Associate Professor, Assistant, Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: om.honchar@knu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4103-8286>

Mykola Panchenko, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: panchenko0802@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0613-1776>

Oleksii Pavliuchenko, PhD, Head of the Department of Anesthesiology, Kharkiv City Clinical Multiprofile Hospital 17, Kharkiv, Ukraine; e-mail: 0978131551a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2885-9805>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The article is a fragment of the research project of the Department of Ophthalmology of the KhNMU "Features of changes in the posterior segment of the eye in severe vascular pathology of the organ of vision", state registration number 0125U001242. The authors are co-executors of the specified topic.

Authors' contribution. P.A. Bezditko — collection and processing of materials, writing text; O.P. Muzhychuk — data analysis, text writing; O.S. Nikitina, M.V. Panchenko — collection of materials and data analysis; O.M. Honchar — data analysis, article concept and design; Yu.Yu. Boieva — data analysis, article concept and design, text editing; O.S. Pavliuchenko — data analysis.

P.A. Bezditko¹, O.P. Muzhychuk², O.S. Nikitina², Yu.Yu. Boieva¹, O.M. Honchar¹, M.V. Panchenko¹, O.S. Pavliuchenko²

¹ Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

² Kharkiv City Clinical Multiprofile Hospital 17, Kharkiv, Ukraine

Traumatic optic neuropathy in blast-mine injury: features of shear deformation pathogenesis and a clinical case of visual function recovery in a child

Abstract. Background. In the context of the ongoing full-scale war in Ukraine, blast injuries have become a prevalent cause of severe disability among both military personnel and the civilian population. Traumatic optic neuropathy represents one of the most challenging and occult complications of blast-induced trauma. Damage to the intracanalicular segment of the optic nerve and shear injuries at the level of the lamina cribrosa frequently develop in the absence of visible anatomical disruption of the eyeball, significantly complicating timely diagnosis and worsening the visual prognosis.

Objective: to provide a pathophysiological rationale for the mechanisms of primary and secondary concussive optic nerve injury in blast trauma (specifically compartment syndrome and axonal shear injury) and to demonstrate the regenerative potential of the visual system in pediatric patients through a case of successful clinical rehabilitation. **Case presentation.** We report a case of successful management of a 13-year-old boy from Kharkiv who sustained a severe concussion of the posterior pole of both eyes due to a blast injury. At the initial examination on days 4–5, visual acuity was 0.1–0.3. A concentric visual field narrowing was detected, along with massive

prominent edema of the optic discs, and peripapillary hemorrhages, while pupillary light reflexes remained intact. Magnetic resonance imaging and optical coherence tomography verified pronounced retrobulbar edema without axonal disruption. The comprehensive pathogenetic therapy (systemic corticosteroids, neuro- and retinoprotectors) successfully reversed the axonal functional block (parabiosis). After 2 months, visual acuity improved to 0.8–0.9, and visual fields normalized completely. Fundus examination revealed a distinct zone of conoid peripapillary atrophy (1–2 mm), serving as a pathognomonic marker of the sustained tissue shear injury.

Conclusions. Concussive blast injury to the optic nerve requires immediate urgent diagnostic evaluation (computed/optical coherence tomography) and a differentiated approach. Child's visual system possesses high axonal cytoskeletal plasticity and lamina cribrosa elasticity. When high-dose anti-edema and neuroprotective therapy is initiated timely, it ensures the reversibility of the functional axonal block (parabiosis), leading to a high rate of visual recovery.

Keywords: blast injury; traumatic optic neuropathy; shear injury; lamina cribrosa; compartment syndrome; children; neuroprotection

Зоровий аналізатор при цукровому діабеті: результати ОКТ, електрофізіологічних досліджень та оцінки зіничного циклу

Резюме. Актуальність. Цукровий діабет супроводжується не лише мікросудинними змінами сітківки, а й розвитком нейродегенеративних порушень зорового аналізатора, які можуть виникати ще до появи клінічних ознак діабетичної ретинопатії. У зв'язку з цим особливого значення набуває застосування сучасних структурних і функціональних методів дослідження для раннього виявлення діабетичного ураження органа зору. **Мета:** оцінити можливості структурних та електрофізіологічних методів у ранній комплексній діагностиці порушень зорового аналізатора у пацієнтів із цукровим діабетом. **Матеріали та методи.** Обстежено 67 пацієнтів із цукровим діабетом 1-го та 2-го типу (134 ока), яких залежно від стадії діабетичної ретинопатії розподілено на три групи: з непроліферативною стадією (23 пацієнти, 46 очей), з препроліферативною стадією (22 пацієнти, 44 ока) та з проліферативною (22 пацієнти, 44 ока). Контрольну групу становили 20 практично здорових осіб (40 очей). Усім учасникам виконували комплексне офтальмологічне обстеження, що включало оптичну когерентну томографію (ОКТ) з визначенням товщини шару нервових волокон сітківки (RNFL), а також електрофізіологічні дослідження: визначення критичної частоти злиття миготінь (КЧЗМ), порогу електричної чутливості за фосфеном (ПЕЧФ), лабільності зорового аналізатора (ЛЗА) та часу зіничного циклу (ЧЗЦ). Статистичну обробку результатів проводили із використанням пакета MedStat v.5.2, статистично значущими вважали відмінності між групами при $p < 0,05$. **Результати.** У пацієнтів із цукровим діабетом встановлено прогресуюче погіршення структурних і функціональних показників зі збільшенням тяжкості діабетичної ретинопатії. За даними ОКТ відзначалося вірогідне зменшення товщини RNFL порівняно з контрольною групою. Одночасно виявлено зниження КЧЗМ і ЛЗА, підвищення ПЕЧФ та подовження ЧЗЦ, причому найбільш виражені зміни спостерігалися при проліферативній діабетичній ретинопатії. Отримані результати свідчать про поєднання структурних і функціональних проявів діабетичної нейродегенерації, які прогресують відповідно до стадії захворювання. **Висновки.** Поєднане застосування оптичної когерентної томографії та електрофізіологічних методів забезпечує комплексну оцінку структурного й функціонального стану зорового аналізатора у пацієнтів із цукровим діабетом. Зменшення товщини RNFL у поєднанні зі зниженням КЧЗМ та ЛЗА, підвищенням ПЕЧФ і подовженням ЧЗЦ є проявами діабетичної нейродегенерації та можуть використовуватися як інформативні маркери для ранньої діагностики, оцінки прогресування й моніторингу діабетичного ураження органа зору.

Ключові слова: цукровий діабет; діабетична ретинопатія; діабетична нейродегенерація; оптична когерентна томографія; електрофізіологічні методи; критична частота злиття миготінь; поріг електричної чутливості за фосфеном; лабільність зорового аналізатора; час зіничного циклу

Вступ

Цукровий діабет (ЦД) залишається однією з найважливіших медико-соціальних проблем сучасності, а його поширеність невинно зростає в усьому світі. За даними International Diabetes Federation, у 2021 році у

світі налічувалося 537 млн дорослих віком 20–79 років із цукровим діабетом, а до 2045 року прогнозується збільшення їх кількості до 783 млн, що свідчить про подальше зростання глобального тягаря цього захворювання [1].

На сьогодні дедалі більше наукових досліджень підтверджують, що ЦД є системним захворюванням, яке супроводжується розвитком численних ускладнень, як от діабетична нефропатія, нейропатія, серцево-судинні захворювання та діабетичне ураження органа зору, яке є однією з провідних причин зниження зору й інвалідації у працездатному віці. Як показали сучасні дослідження, патологічний процес при ЦД не обмежується мікросудинними змінами сітківки, а охоплює також нервові структури зорового аналізатора [2, 3]. Зокрема, уражаються нейрони сітківки, шар нервових волокон, гангліонарні клітини, зоровий нерв, нервові волокна рогівки та центральні відділи зорового аналізатора. Так, встановлено, що нейродегенеративні зміни можуть виникати ще до появи клінічних ознак діабетичної ретинопатії (ДР) та прогресувати паралельно з мікроангіопатією. Це свідчить про те, що ураження органа зору при цукровому діабеті є складним нейроваскулярним процесом [4–6]. Саме тому питання ранньої діагностики, лікування та профілактики діабетичного ураження органа зору набувають особливої актуальності.

Сучасні високотехнологічні методи діагностики відкривають нові можливості для раннього виявлення діабетичної нейродегенерації. Одним із найбільш інформативних методів є оптична когерентна томографія (ОКТ), яка дає змогу неінвазивно оцінити структурний стан сітківки та кількісно визначити товщину шару нервових волокон сітківки (retinal nerve fiber layer, RNFL). Зменшення товщини RNFL відображає пошкодження аксонів гангліозних клітин сітківки та прогресування нейродегенеративного процесу, що робить цей показник важливим біомаркером ранньої діагностики діабетичного ураження органа зору [7–10].

Водночас визначення структурних змін не завжди може супроводжуватися клінічними проявами, тому для більш повної оцінки стану зорового аналізатора особливу цінність мають електрофізіологічні методи дослідження. Вони дають змогу об'єктивно оцінити функціональний стан сітківки, зорового нерва та центральних відділів зорового аналізатора, а також виявити ранні порушення нейросенсорної передачі. Зокрема, визначення критичної частоти злиття миготінь (КЧЗМ), порогу електричної чутливості за фосфеном (ПЕЧФ) та лабільності зорового аналізатора (ЛЗА) дає можливість визначити рівень ураження нервових структур, оцінити розвиток патологічного процесу, контролювати прогресування захворювання та прогнозувати його перебіг [11, 12].

Історія розвитку електрофізіологічних методів в офтальмології тісно пов'язана з розвитком фізіології зору, нейроофтальмології та функціональної діагностики. В Україні становлення цього напрямку відбувалося на базі провідних офтальмологічних наукових центрів, де були розроблені та впроваджені методики дослідження функціонального стану зорового аналізатора, зокрема визначення КЧЗМ, ПЕЧФ, ЛЗА та інших електрофізіологічних показників.

Одним із існуючих інформативних методів оцінки функціонального стану зорового аналізатора є визначення КЧЗМ. Так, низкою досліджень показано, що цей показник відображає функціональну активність

центральної нервової системи та може опосередковано характеризувати інтенсивність окисно-відновних процесів в організмі, зокрема у структурах зорового аналізатора. Метод ґрунтується на здатності зорової системи сприймати ритмічно переривчасте світло. За низької частоти світлових імпульсів досліджуваній сприймає окремі спалахи як миготіння, тоді як зі збільшенням частоти настає момент їх злиття у безперервне світіння. Мінімальна частота світлових стимулів, за якої виникає цей феномен, визначається як КЧЗМ [13–16].

Проведені дослідження показали, що показники КЧЗМ суттєво змінюються при захворюваннях зорового нерва. Зокрема, їх зниження виявлено при атрофії зорового нерва, ретробульбарному невриті та глаукомі, що свідчить про високу діагностичну цінність методу для виявлення функціональних порушень зорового аналізатора. Подальші дослідження встановили, що зміни КЧЗМ спостерігаються також при судинних, токсичних, дегенеративних і метаболічних ураженнях зорового аналізатора. Це дозволило розглядати КЧЗМ як інформативний показник стану нейросенсорних структур зорової системи [13–17].

Поряд із визначенням КЧЗМ також застосовують дослідження ПЕЧФ та ЛЗА. Метод визначення ПЕЧФ ґрунтується на феномені виникнення фосфену — відчуття світіння при подразненні ока немодалними (несвітловими) стимулами. При цьому нервові структури зорового аналізатора відповідають зміною електричної активності, а яскравість і колір фосфену залежать від їх функціонального стану та сили електричного подразнення. У клінічній практиці ПЕЧФ зазвичай оцінюють у комплексі з КЧЗМ та ЛЗА, що дозволяє всебічно оцінити функціональний стан сітківки, зорового нерва та центральних відділів зорового аналізатора [11, 12, 18].

Комплексне використання КЧЗМ, ПЕЧФ та ЛЗА забезпечує об'єктивну оцінку функціонального стану зорового аналізатора, розширює можливості раннього виявлення змін і моніторингу перебігу діабетичного ураження органа зору. Поряд із КЧЗМ, ПЕЧФ та ЛЗА важливим методом функціональної оцінки зорового аналізатора є визначення часу зіничного циклу (ЧЗЦ). Відомо, що час зіничного циклу є кількісною характеристикою реакції зіниці на світло та залежить від функціонування аферентної ланки дуги зіничного рефлексу. Оскільки світлова енергія в нейроепітеліальному шарі сітківки трансформується в нервовий імпульс, який забезпечує як візуальну, так і пупіломоторну відповідь, визначення ЧЗЦ дає змогу оцінити функціональний стан аферентного відділу зорового аналізатора та ступінь залучення зорового нерва до патологічного процесу [11, 12, 19].

На сьогодні накопичено достатньо клінічних даних, що дозволяють охарактеризувати окремі форми діабетичного ураження зорового аналізатора, які тривалий час можуть не мати виражених офтальмоскопічних проявів. Це ускладнює їх своєчасну діагностику та обґрунтовує пошук простих, неінвазивних і доступних методів раннього виявлення таких змін. Незважаючи на значний прогрес у розвитку сучасних методів структурної та функціональної діагностики, питання їх комплексного застосування для раннього виявлення діабетичної

нейродегенерації, оцінки функціонального стану зорового аналізатора та моніторингу прогресування патологічного процесу потребують подальшого дослідження.

Мета дослідження: оцінити можливості структурних та електрофізіологічних методів у ранній комплексній діагностиці порушень зорового аналізатора у пацієнтів із цукровим діабетом.

Матеріали та методи

У дослідження було включено 67 пацієнтів (134 ока), серед яких 20 пацієнтів із цукровим діабетом 1-го типу та 47 пацієнтів із цукровим діабетом 2-го типу. Залежно від стадії діабетичної ретинопатії пацієнтів було розподілено на три групи. Стадію ДР визначали відповідно до міжнародної класифікації Е.М. Kohnner, М. Porta, 1991 р. Так, 1-ша група — хворі з непроліферативною стадією ДР — 23 особи (46 очей), 2-га група — хворі з препроліферативною стадією ДР — 22 особи (44 ока) і 3-тя група — хворі з проліферативною стадією ДР — 22 особи (44 ока).

Середній вік хворих становив $67,8 \pm 6,8$ року. Тривалість ЦД до 5 років відзначалася у 52,2 % хворих (35 осіб), від 5 до 10 років — у 26,9 % хворих (18 осіб), більше ніж 10 років — у 20,9 % хворих (14 осіб). Залежно від рівня глікозильованого гемоглобіну крові компенсація ($HbA1c \leq 7\%$) ЦД спостерігалася у 47,8 % хворих (32 особи), субкомпенсація ($7\% \geq HbA1c \leq 9\%$) — у 43,3 % хворих (29 осіб), декомпенсація ($HbA1c \geq 9\%$) — у 9 % хворих (6 осіб). Контрольну групу становили 20 пацієнтів (40 очей) — практично здорові особи без цукрового діабету та офтальмологічної патології, порівнянні за віком і статтю з основними групами.

Серед обстежених пацієнтів із діабетичною ретинопатією у 6 осіб спостерігалася міопія в межах від 0,75 до 4,0 діоптрії, у 13 осіб — гіперметропія від 0,5 до 4,0 діоптрії. Також відзначалися різні види та ступені астигматизму. Гострота зору пацієнтів коливалася від 0,02 до 0,8.

Критеріями включення до дослідження були хворі (чоловіки та жінки) на ЦД 1-го та 2-го типу, вік понад 18 років, наявність діабетичної ретинопатії на фоні цукрового діабету різних стадій. До контрольної групи включали практично здорових осіб без офтальмологічної патології та цукрового діабету.

Критеріями виключення були глаукома, недіабетичні дегенеративні захворювання сітківки, виражені помутніння оптичних середовищ, перенесені оперативні втручання або лазерне лікування органа зору протягом останніх шести місяців, запальні захворювання ока, а також тяжкі неврологічні чи соматичні захворювання, здатні впливати на результати дослідження.

Усім учасникам дослідження проведено комплексне офтальмологічне обстеження, що включало стандартні методи (візометрію, авторефрактометрію, тонометрію, біомікроскопію, офтальмоскопію), ОКТ та електрофізіологічні методи, зокрема визначення КЧЗМ, ПЕЧФ, ЛЗА і ЧЗЦ.

Дослідження виконували на базі Університетської клініки Національного медичного університету імені О.О. Богомольця з дотриманням положень Конвенції

Ради Європи про права людини і біомедицину, Гельсінської декларації та чинного законодавства України. Усі пацієнти надали інформовану згоду на участь у дослідженні.

Визначення КЧЗМ проводили монокулярно за допомогою приладу «Свето-тест». Дослідження виконували в першій половині дня в положенні сидючи після 5–10-хвилинної адаптації до умов приміщення. Кожне око обстежували окремо, при цьому необстежуване око закривали непрозорою заслінкою. Джерело світлового стимулу розташовували на відстані 20–40 мм від ока, частоту мерехтіння поступово збільшували в діапазоні від 11 до 60 Гц. Пацієнт повідомляв про момент злиття миготінь, що відповідало переходу від сприйняття окремих світлових спалахів до безперервного світіння. Отримане значення реєстрували як критичну частоту злиття миготінь. Для підвищення точності результатів кожне дослідження проводили тричі з подальшим обчисленням середнього значення показника.

Дослідження ПЕЧФ проводили за допомогою електростимулятора «ЕСО-2» у темній кімнаті. Перед початком дослідження електроди дезінфікували та накладали через ватно-марлеві прокладки, змочені фізіологічним розчином. Активний електрод розміщували на закритій повіці досліджуваного ока по центру рогівки. Референтний електрод накладали на долонну поверхню передпліччя руки, протилежної досліджуваному оку. Після адаптації до темряви подавали поодинокі подразнення струмом, силу якого поступово підвищували регулятором. При відчутті в темряві слабких спалахів (фосфену) відмічали значення струму. Процедуру повторювали 3 рази для визначення середнього порогового значення сили струму (найменшу силу струму, при якій виникало відчуття фосфену).

Для визначення ЛЗА регулятором встановлювали силу струму, втричі більшу за визначений індивідуальний ПЕЧФ.

Визначення ЧЗЦ проводили за методикою S.D. Miller та H.S. Thompson (1971). Обстеження виконано у 67 пацієнтів. Дослідження проводили в затемненій кімнаті в першій половині дня з використанням щілинної лампи. Світлову щілину розміщували в горизонтальному положенні перпендикулярно до канту зіниці, після чого поступово переміщували до нижнього краю зіниці. За допомогою секундоміра реєстрували час 30 зіничних циклів. Дослідження проводили тричі, після чого розраховували середній час зіничного циклу.

ОКТ виконували на оптичному когерентному томографі Topcon 3D OCT-1 Maestro (Topcon Corporation, Японія) у режимі 3D Wide Report (Disc 9×9 mm, 512×128) з автоматичним визначенням товщини шару нервових волокон сітківки.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням пакета статистичного аналізу MedStat v.5.2. Кількісні дані представлено у вигляді середнього значення та стандартного відхилення ($M \pm SD$). Для порівняння показників між групами використовували параметричні або непараметричні методи залежно від характеру розподілу даних. Різницю між групами вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

Результати та обговорення

У результаті проведеного дослідження було виявлено прогресивне зниження показника КЧЗМ від 40,2 до 25,13 залежно від стадії ДР (рис. 1).

Також ми спостерігали прогресивне зниження показника ЛЗА від 42,5 до 29,38 залежно від стадії ДР (рис. 2).

Відповідно до отриманих нами даних показники ПЕЧФ прогресивно зростали від 126,5 до 278 залежно від стадії ДР (рис. 3).

Результати електрофізіологічного дослідження продемонстрували статистично значущі відмінності ступеня порушення функціонального стану зорового аналізатора між пацієнтами контрольної групи та пацієнтами з різними стадіями ДР. Уже у пацієнтів із непроліферативною діабетичною ретинопатією критична частота злиття миготінь становила $40,2 \pm 1,23$ Гц, що було на 7,9 % нижчим порівняно з контрольною групою ($p < 0,05$). Одночасно ЛЗА знизилася до $42,5 \pm 3,54$ Гц (на 15,0 %), тоді як ПЕЧФ підвищився до $126,5 \pm 13,34$ мкА, перевищуючи контрольні значення на 56,9 %. Виявлення статистично значущих змін уже на ранніх стадіях захворювання свідчить про розвиток функціональних порушень зорового аналізатора ще до появи виражених структурних змін сітківки.

У групі пацієнтів із препроліферативною діабетичною ретинопатією спостерігалось подальше погіршення досліджуваних показників. КЧЗМ знизилася до $35,75 \pm 2,05$ Гц, що було на 18,1 % нижчим порівняно з контролем ($p < 0,05$). ЛЗА становила $38,75 \pm 3,54$ Гц і була меншою на 22,5 %, тоді як ПЕЧФ зріс до $159,4 \pm 17,04$ мкА, перевищуючи контрольний показник більш ніж удвічі. Такі зміни вказують на прогресуюче погіршення функціонального стану сітківки та провідних шляхів зорової системи.

Найбільш виражені відхилення були характерні для пацієнтів із проліферативною діабетичною ретинопатією. У цій групі КЧЗМ становила $25,13 \pm 3,64$ Гц, що було на 42,4 % нижчим порівняно з контрольною групою ($p < 0,05$). ЛЗА знизилася до $29,38 \pm 3,20$ Гц (на 41,2 %), тоді як ПЕЧФ підвищився до $278 \pm 70,25$ мкА,

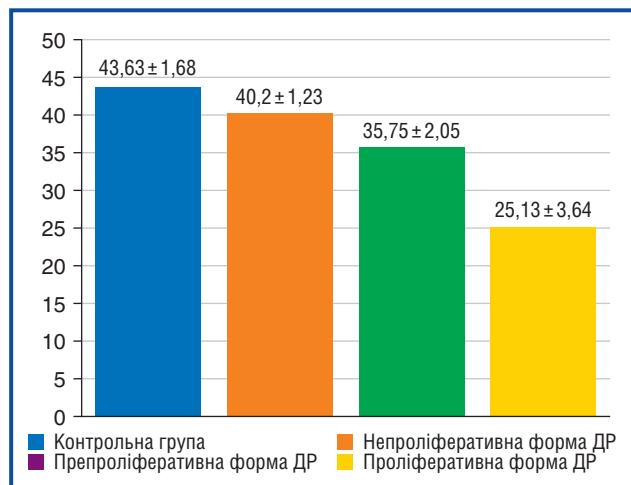


Рисунок 1. Середні показники КЧЗМ залежно від стадії ДР

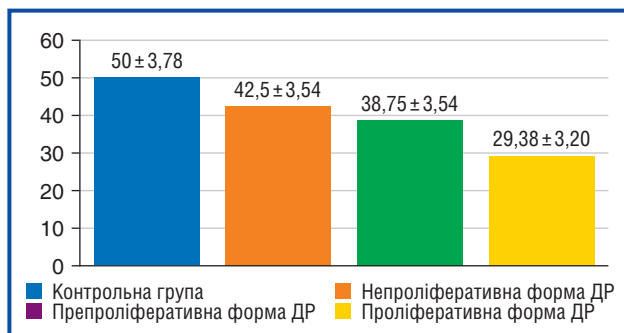


Рисунок 2. Середні показники ЛЗА залежно від стадії ДР

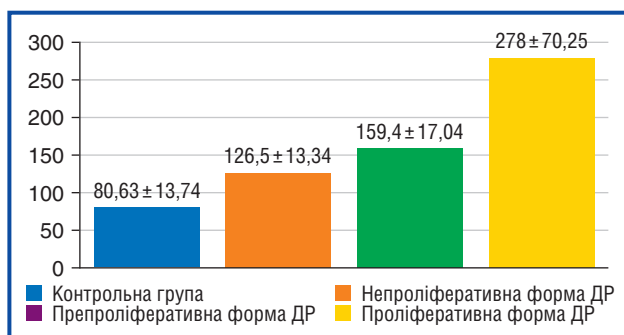


Рисунок 3. Середні показники ПЕЧФ залежно від стадії ДР

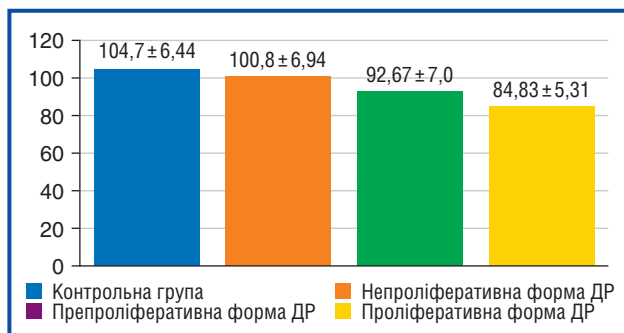


Рисунок 4. Середні показники товщини RNFL залежно від стадії ДР

перевищуючи контрольне значення у 3,45 раза. Отримані дані свідчать про значне зниження функціональних можливостей зорового аналізатора на пізніх стадіях діабетичної ретинопатії.

Отримані електрофізіологічні зміни супроводжувалися структурними змінами за даними ОКТ (рис. 4). Встановлено прогресивне зменшення товщини шару нервових волокон сітківки у міру прогресування діабетичної ретинопатії. У пацієнтів із НДРП середня товщина RNFL була меншою на 5,5 % порівняно з контрольною групою (відмінність не є статистично значимою, $p = 0,79$). У хворих з препроліферативною діабетичною ретинопатією відмінність є статистично значимою на рівні $p = 0,04$. Найбільш виражені зміни виявлені у хворих із проліферативною діабетичною ретинопатією, у яких товщина RNFL була меншою відносно контрольних значень (відмінність є статистично значимою на рівні $p < 0,01$), що свідчить про прогресуючу нейродегенерацію сітківки при цукровому діабеті.

Таблиця 1. Зміни часу зіничного циклу у пацієнтів з цукровим діабетом ($M \pm SD$)

Параметр, що досліджувався	Норма	Стадії ретинопатії		
		Непроліферативна (n = 46)	Препроліферативна (n = 44)	Проліферативна (n = 44)
ЧЗЦ, с	$0,80 \pm 0,01$	$1,4 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,6$
Вірогідність	–	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$

Примітка: p — вірогідність відмінностей порівняно з нормативними показниками, n — кількість очей.

Отримані результати показали, що електрофізіологічні зміни супроводжувалися структурними змінами за даними ОКТ (рис. 4). Встановлено прогресивне зменшення товщини шару нервових волокон сітківки зі збільшенням тяжкості діабетичної ретинопатії. У пацієнтів із непроліферативною діабетичною ретинопатією середня товщина RNFL була меншою порівняно з контрольною групою, однак різниця не була статистично значущою ($p = 0,79$). У хворих із препроліферативною діабетичною ретинопатією спостерігалось подальше зменшення товщини RNFL, яке було статистично значущим порівняно з контрольною групою ($p = 0,04$). Найбільш виражене стоншення RNFL виявлено у пацієнтів із проліферативною діабетичною ретинопатією, у яких товщина шару була вірогідно меншою порівняно з контролем ($p < 0,01$). Отримані результати свідчать про прогресуючий характер нейродегенеративних змін сітківки при цукровому діабеті, вираженість яких зростає відповідно до стадії діабетичної ретинопатії.

Додаткову інформацію щодо функціонального стану зорового аналізатора отримано при визначенні часу зіничного циклу. Дослідження ЧЗЦ було проведено на 134 очах 67 пацієнтів із цукровим діабетом 1-го та 2-го типу. Аналіз отриманих результатів показав вірогідне збільшення ЧЗЦ порівняно з нормативними показниками, причому його величина зростала зі збільшенням тяжкості діабетичної ретинопатії (табл. 1). У пацієнтів із непроліферативною ДР ЧЗЦ становив $1,4 \pm 0,2$ с, при препроліферативній ДР — $1,6 \pm 0,5$ с, а при проліферативній ДР — $1,8 \pm 0,6$ с, що вірогідно перевищувало нормативне значення ($0,8 \pm 0,01$ с; $p < 0,01$). Отримані дані свідчать про поступове подовження часу зіничного циклу зі зростанням тяжкості діабетичної ретинопатії, що може відображати прогресуюче порушення функціонального стану аферентної ланки зіничного рефлексу та нейродегенеративні зміни зорового аналізатора.

Отримані результати підтверджують сучасну концепцію діабетичної нейродегенерації, згідно з якою патологічний процес при цукровому діабеті охоплює не лише судинні зміни сітківки, а й нервові структури зорового аналізатора. Прогресуюче зниження КЧЗМ і ЛЗА, підвищення ПЕЧФ, подовження часу зіничного циклу та зменшення товщини RNFL свідчать про поєднання функціональних і структурних порушень, вираженість яких зростає зі збільшенням тяжкості діабетичної ретинопатії. Отримані дані обґрунтовують доцільність комплексного застосування структурних та електрофізіологічних методів для раннього виявлення, оцінки прогресування та моніторингу діабетичного ураження органа зору.

Висновки

Проведене дослідження показало, що поєднане застосування структурних (ОКТ) та електрофізіологічних методів (КЧЗМ, ПЕЧФ, ЛЗА і часу зіничного циклу) суттєво розширює можливості ранньої комплексної діагностики порушень зорового аналізатора у пацієнтів із цукровим діабетом. Встановлено, що зі збільшенням тяжкості діабетичної ретинопатії відбувається прогресуюче погіршення як структурних, так і функціональних показників, що проявляється зменшенням товщини шару нервових волокон сітківки, зниженням КЧЗМ і ЛЗА, підвищенням ПЕЧФ та подовженням ЧЗЦ. Виявлені зміни свідчать про розвиток нейродегенеративних процесів уже на ранніх стадіях діабетичного ураження органа зору та підтверджують доцільність використання комплексу структурних і електрофізіологічних методів для раннього виявлення, оцінки прогресування та моніторингу перебігу діабетичного ураження органа зору.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Це дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Скрипник Р.Л. — концепція та дизайн дослідження, збір та обробка матеріалу, редагування; Соломаха К.М. — аналіз отриманих даних, збір та обробка матеріалу, статистична обробка даних, написання тексту.

Список літератури

1. Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B.B., ... & Magliano, D.J. (2022). *IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. Diabetes research and clinical practice*, 183, 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>.

2. Simó, R., Stitt, A.W., & Gardner, T.W. (2018). *Neurodegeneration in diabetic retinopathy: does it really matter? Diabetologia*, 61(9), 1902-1912. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4692-1>.

3. Antonetti, D.A., Silva, P.S., & Stitt, A.W. (2021). *Current understanding of the molecular and cellular pathology of diabetic retinopathy. Nature Reviews Endocrinology*, 17(4), 195-206. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-00451-4>.

4. Viganò, I., Galbiati, S., Aragona, E., Gabellini, D., Lattanzio, R., Pedon, V., ... & Zerbini, G. (2025). *Diabetes-Driven Retinal Neurodegeneration: Its Role in the Pathogenesis of Diabetic Retinopathy. Biomedicines*, 13(6), 1328. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13061328>.

5. Yang, Q., Yasvoina, M., Olvera-Barrios, A., Mendes, J., Zhu, M., Egan, C., Tufail, A., & Fruttiger, M. (2024). Deciphering the connection between microvascular damage and neurodegeneration in early diabetic retinopathy. *Diabetes*. <https://doi.org/10.2337/db24-0107>.
6. Zhao, H., Cai, Y., Pan, J., & Chen, Q. (2024). Role of MicroRNA in linking diabetic retinal neurodegeneration and vascular degeneration. *Frontiers in Endocrinology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1412138>.
7. Verma, S., Singh, V.K., Rana, J., Kumar, S., Singh, K., & Srivastava, R. (2023). Quantitative measurement of retinal nerve fiber layer thickness and its correlation with optical coherence tomography angiography vascular biomarker changes in preclinical diabetic retinopathy. *Indian Journal of Ophthalmology*, 72(Suppl 1), S11-S15. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_340_23.
8. Aldakhil, S., Challa, N., Alhoshan, S.A., Abohamed, F., Alnasser, B.N., Almuhawes, H.A., AlObaisi, S., & Alrasheed, S.H. (2025). Quantitative Analysis of Early Retinal Changes and OCT Parameters in Diabetic Subjects with and Without Retinopathy. *Diagnostics*, 15(4), 451. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15040451>.
9. Ahmad, N.-U.-S., Staggers, K., Lee, K., Mehta, N., Domalpally, A., Frankfort, B.J., Liu, Y., & Channa, R. (2024). Total retinal thickness is an important factor in evaluating diabetic retinal neurodegeneration. *BMJ Open Ophthalmology*, 9(1), e001791. <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2024-001791>.
10. Zhong, X., Li, H., Tan, S., Yang, S., Zhu, Z., Huang, W., Cheng, W., & Wang, W. (2024). Initial Retinal Nerve Fiber Layer Loss and Risk of Diabetic Retinopathy Over a Four-Year Period. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 65(12), 5. <https://doi.org/10.1167/iovs.65.12.5>.
11. Mahroo, O.A. (2023). Visual electrophysiology and “the potential of the potentials”. *Eye*. <https://doi.org/10.1038/s41433-023-02491-2>.
12. Calcagni, A., Neveu, M.M., Jurkute, N., & Robson, A.G. (2024). Electrodiagnostic tests of the visual pathway and applications in neuro-ophthalmology. *Eye*. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03154-6>.
13. Muth, T., Schipke, J.D., Brebeck, A.-K., & Dreyer, S. (2023). Assessing Critical Flicker Fusion Frequency: Which Confounders? A Narrative Review. *Medicina*, 59(4), 800. <https://doi.org/10.3390/medicina59040800>.
14. Xu, G., Fu, J., Qi, H., Li, L., Chen, W., Gao, Y., Ma, T., Ye, Z., & Li, Z. (2022). The theory of critical flicker fusion frequency and its application in cataracts. *Advances in Ophthalmology Practice and Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aopr.2022.10.002>.
15. Eisen-Enosh, A., Farah, N., Burgansky-Eliash, Z., Polat, U., & Mandel, Y. (2017). Evaluation of Critical Flicker-Fusion Frequency Measurement Methods for the Investigation of Visual Temporal Resolution. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15034-z>.
16. Mankowska, N.D., Marcinkowska, A.B., Waskow, M., Sharma, R.I., Kot, J., & Winkowski, P. J. (2021). Critical Flicker Fusion Frequency: A Narrative Review. *Medicina*, 57(10), 1096. <https://doi.org/10.3390/medicina57101096>.
17. Fu, J., Wang, Y., Tan, S., Xu, G., Zhou, H., Xu, Q., & Wei, S. (2021). The clinical application of critical flicker fusion frequency in demyelinating optic neuritis. *Advances in Ophthalmology Practice and Research*, 1(2), 100011. <https://doi.org/10.1016/j.aopr.2021.100011>.
18. Naycheva, L., Schatz, A., Röck, T., Willmann, G., Messias, A., Bartz-Schmidt, K.U., Zrenner, E., & Gekeler, F. (2012). Phosphene Thresholds Elicited by Transcorneal Electrical Stimulation in Healthy Subjects and Patients with Retinal Diseases. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(12), 7440. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-9612>.
19. Trinquet, L., Ajasse, S., Chavane, F., Legras, R., Matonti, F., Sahel, J.-A., Vignal-Clermont, C., & Lorenceau, J. (2025). Uncovering the Characteristics of Pupil Cycle Time (PCT) in Neuropathies and Retinopathies. *Vision*, 9(3), 51. <https://doi.org/10.3390/vision9030051>.

Отримано/Received 16.05.2026

Рецензовано/Revised 11.06.2026

Прийнято до друку/Accepted 20.06.2026

Information about authors

Rimma Skrypnik, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Ophthalmology, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: rimma.skrypnik@gmail.com, rimmaskrypnik@gmail.com; phone: +380 (67) 403-26-31; <https://orcid.org/0000-0002-8463-1701>

Kateryna Solomakha, Assistant, Department of Ophthalmology, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: solomakha95@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7944-3442>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. This study did not receive external funding.

Authors' contribution. R.L. Skrypnik — research concept and design, collection and processing of material, editing; K.M. Solomakha — analysis of received data, collection and processing of material, statistical data processing, text writing.

R.L. Skrypnik, K.M. Solomakha
Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine.

Visual system analysis in diabetes mellitus: results of OCT, electrophysiological studies, and pupil cycle assessment

Abstract. Background. Diabetes mellitus is associated not only with retinal microvascular alterations but also with neurodegenerative changes of the visual analyzer that may develop yet before the appearance of clinical signs of diabetic retinopathy. Therefore, the use of contemporary structural and functional assessment methods is of particular importance for the early detection of diabetic eye involvement. The purpose was to evaluate the diagnostic value of structural and electrophysiological methods for the early comprehensive assessment of visual analyzer impairment in patients

with diabetes mellitus. **Materials and methods.** The study included 67 patients with types 1 and 2 diabetes mellitus (134 eyes), who were divided into three groups according to the stage of diabetic retinopathy: non-proliferative (23 patients, 46 eyes), pre-proliferative (22 patients, 44 eyes), and proliferative one (22 patients, 44 eyes). The control group consisted of 20 healthy subjects (40 eyes). All participants underwent a comprehensive ophthalmic examination, including optical coherence tomography with assessment of retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness, as well as

electrophysiological testing comprising critical flicker frequency (CFF), phosphene electrical sensitivity threshold (PEST), visual analyzer lability (VAL), and pupil cycle time (PCT). Statistical analysis was performed using MedStat v.5.2 software. Differences between groups were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results. Patients with diabetes mellitus demonstrated progressive deterioration of both structural and functional parameters with increasing severity of diabetic retinopathy. Optical coherence tomography revealed a significant reduction in RNFL thickness compared to the control group. Simultaneously, CFF and VAL decreased, whereas PEST and PCT increased, with the most pronounced changes observed in patients with proliferative diabetic retinopathy. These findings indicate the coexistence of structural and functional manifestations of diabetic neurodegeneration,

which progress in parallel with disease severity. **Conclusions.** The combined application of optical coherence tomography and electrophysiological methods provides a comprehensive assessment of the structural and functional status of the visual analyzer in patients with diabetes mellitus. Decreased RNFL thickness together with reduced CFF and VAL, increased PEST, and prolonged PCT represent manifestations of diabetic neurodegeneration and may serve as informative biomarkers for the early diagnosis, assessment of disease progression, and monitoring of diabetic eye involvement.

Keywords: diabetes mellitus; diabetic retinopathy; diabetic neurodegeneration; optical coherence tomography; electrophysiological methods; critical flicker frequency; phosphene electrical sensitivity threshold; visual analyzer lability; pupil cycle time

Гріжимальська К.Ю., Комаровська І.В., Андрушкова О.О.

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

Вторинна глаукома як рідкісне ускладнення токсоплазмозного увеїту

Резюме. Вторинна постувальна глаукома є тяжким ускладненням увеїту, що потребує одночасного контролю внутрішньоочного тиску та активного запального процесу. У статті подано клінічний випадок діагностики й лікування вторинної увеальної глаукоми, асоційованої з очним токсоплазмозом, із критичним аналізом послідовності терапевтичних заходів. **Мета:** подати особливості діагностики та лікування вторинної постувальної глаукоми на тлі очного токсоплазмозу, а також проаналізувати ефективність і можливі ризики застосованих методів контролю внутрішньоочного тиску. **Матеріали та методи.** Проведено аналіз клінічного випадку пацієнта з гострим увеїтом та вторинною увеальною глаукомою лівого ока. Оцінювали скарги, анамнез, гостроту зору, внутрішньоочний тиск, результати біомікроскопії, гоніоскопії, периметрії, ультразвукового дослідження та лабораторної діагностики TORCH-інфекцій. Проаналізовано динаміку захворювання на тлі медикаментозної терапії та хірургічних підходів. **Результати.** На початковому етапі захворювання було діагностовано відкритокутову глаукому лівого ока з підвищенням внутрішньоочного тиску до 43 мм рт.ст. з підозрою на запальний процес, якому не було приділено достатньої уваги. Надалі виявлено ознаки активного іридоцикліту, преципітати на ендотелії рогівки, неоваскуляризацію райдужки та гоніосинехії. Лабораторні дослідження допомогли у встановленні діагнозу очного токсоплазмозу. Аналіз та корекція медикаментозної терапії і правильно підібрана хірургічна тактика забезпечили зниження ВОТ до 10,5–13,0 мм рт.ст. у ранньому післяопераційному періоді. Через місяць внутрішньоочний тиск становив 33 мм рт.ст., гострота зору лівого ока поліпшилася до 0,6 без корекції. Подальший контроль стану пацієнта не здійснювався. **Висновки.** Вторинна постувальна глаукома потребує комплексного підходу, що включає контроль внутрішньоочного тиску та активного запалення. Клінічна діагностика може бути складною через подібність проявів іншим формам вторинної глаукоми, зокрема синдрому Познера — Шлоссмана. Наведений випадок демонструє необхідність своєчасного уточнення етіології увеїту, обережного вибору лазерних та хірургічних методів лікування й динамічного спостереження за пацієнтами з високим ризиком прогресування глаукомної оптичної нейропатії. **Ключові слова:** токсоплазмозний іридоцикліт; постувальна глаукома; вторинна глаукома

Вступ

Вторинна постувальна глаукома — це ускладнення, яке зустрічається приблизно у 10 % усіх пацієнтів з увеїтом [1].

Відповідно до літературних джерел постзапальна вторинна глаукома (зокрема, увеальна) посідає друге місце (23,1 %) серед вторинних глауком, поступаючись лише факогенній (40,8 %) [2].

Увеїт — це група внутрішньоочних запальних процесів, що уражають увеальний тракт та прилеглі очні структури. Цей нозонім охоплює понад 70 патологій, які

відрізняються за етіологією, анатомічною локалізацією та імунopatологічними механізмами [3].

Інфекційні причини становлять від 11 до 50 % випадків увеїту. Вірусні причини включають вірус простого герпесу, вірус вітряної віспи, цитомегаловірус та вірус імунodefіциту людини. Бактеріальні причини включають туберкульоз, сифіліс та хворобу Лайма. Токсоплазмоз є переважною паразитарною етіологією, тоді як грибові причини, як-от кандидоз, зустрічаються рідше. Неінфекційна етіологія становить від 52 до 79 % випадків [4].

Відповідно до дослідження Neves та співавт., у понад 10 % пацієнтів з системним токсоплазмозом захворювання дебютувало офтальмологічними симптомами, хоча прояви та тяжкість очного токсоплазмозу не корелюють з тяжкістю системного захворювання [5].

У системному огляді Boyd та співавт. (2025) відзначено, що 21 % випадків очного токсоплазмозу припадає на передній увеїт, 2 % — на проміжний увеїт, 48 % — на задній увеїт та 29 % — на панувейт [6].

Згідно з даними літератури, від 10 до 15 % випадків сліпоти, яким можна було б запобігти, пов'язані з ускладненнями увеїту [7].

Мета даної публікації: подати особливості діагностики та лікування вторинної постувеальної глаукоми на тлі очного токсоплазмозу, а також проаналізувати ефективність і можливі ризики застосованих методів контролю внутрішньоочного тиску (ВОТ).

Матеріали та методи

На консультацію на кафедру очних хвороб ВНМУ ім. М.І. Пирогова з інфекційного відділення в квітні 2026 р. був направлений пацієнт Б., 1986 р.н., зі скаргами на біль в очі, значне зниження гостроти зору та звуження полів зору лівого ока.

Результати

З анамнезу відомо, що в листопаді 2025 року пацієнт звернувся в поліклініку за місцем проживання зі скаргами на туман перед лівим оком протягом останніх 2–3 місяців.

Із записів амбулаторної карти відомо, що при первинному зверненні до офтальмолога гострота зору правого ока з корекцією становила 1,0, а лівого — 0,7 н/к, ВОТ правого ока 21 мм рт.ст., лівого — 43 мм рт.ст. за Маклаковим. Було встановлено попередній діагноз: уперше виявлена відкритокутова ІІс глаукома лівого ока (увеальна? глаукомо-циклітичний криз?). Рекомендовано інстиляції тимололу малеату та латанопросту, ацетазоламід перорально. Через 2 дні ВОТ пацієнта становив 16 мм рт.ст. на правому оці та 29 мм рт.ст. на лівому оці, однак пацієнт відмітив появу парестезій в руках, що лікарем було пов'язано з прийомом ацетазоламиду, внаслідок чого останній був відмінений, однак до лікування було додано інстиляції дорзоламиду.

На фоні призначеного лікування протягом місяця ВОТ пацієнта становив 16–18 мм рт.ст. на правому оці та 23–27 мм рт.ст. на лівому оці. При периметрії відмічалось концентричне звуження полів зору лівого ока до 30–45°.

Через 2 місяці від початку лікування для отримання альтернативної думки пацієнт звернувся до іншого офтальмолога. Відповідно до запису: гострота зору правого ока 1,0, лівого — 0,7 н/к, ВОТ, виміряний тонометром iCare, становив 16 мм рт.ст. на правому оці та 57 мм рт.ст. на лівому оці. При огляді лікарем виявлено множинні преципітати на ендотелії рогівки лівого ока. Встановлено діагноз: гострий іридоцикліт лівого ока, вторинна увеальна глаукома лівого ока. Лікарем було відмінено інстиляції латанопросту та додано комбіновані очні краплі з дексаметазоном, неоміцином, поліміксином В, бромфенак і цирелакс для регуляр-

них інстиляцій за схемою. Також було рекомендовано звернутися на консультацію до терапевта, ревматолога та інфекціоніста.

Призначене лікування принесло незначне суб'єктивне поліпшення, тому пацієнт, виконуючи останні призначення, місяць не звертався у клініку, однак наприкінці січня пацієнт повторно відмітив погіршення стану і з'явився на консультацію до офтальмолога за місцем проживання, який вперше його консультував. При огляді гострота зору правого ока з корекцією становила 1,0, а лівого 0,6 н/к, ВОТ правого ока 18 мм рт.ст., лівого — 58 мм рт.ст. за Маклаковим. З урахуванням попередніх рекомендацій пацієнта було направлено на ревмопроби та виявлення TORCH-інфекцій.

Результат аналізу на TORCH-інфекції (рис. 1) показав різке підвищення IgM до токсоплазми (10,1 од/мл при референтних показниках до 2,6 од/мл), при нормальних значеннях IgM до цитомегаловірусу та простого герпесу.

Для уточнення показників пацієнт був направлений в іншу лабораторію. Тим часом до лікування було додано системний антигістамінний препарат та комбінований системний нестероїдний протизапальний препарат.

Через тиждень отримані лабораторні дані вказали на різке підвищення IgG до токсоплазми (> 250 МО/мл при нормі до 8,0 МО/мл), однак показник IgM до токсоплазми був у межах нормативних значень.

У зв'язку з розбіжністю показників двох незалежних лабораторій первинним лікарем було вирішено направити пацієнта у третю лабораторію на розширений аналіз для уточнення та визначення всіх показників TORCH-панелі.

У цей час тиск пацієнта становив 14 мм рт.ст. на правому оці та 30 мм рт.ст. на лівому оці, виміряний за допомогою пневмотонометра. Лікарем було вирішено направити пацієнта на селективну лазерну трабекулопластику (СЛТ) на лівому оці для нормалізації тиску.

Наприкінці лютого третім лікарем було виконано СЛТ на лівому оці. При цьому після процедури до лікування було рекомендовано додати латанопрост та ацетазоламід перорально, а також відмінити системні антигістамінний препарат та НПЗП.

Наступного дня після процедури ВОТ на лівому оці, виміряний пневмотонометром, становив понад 60 мм рт.ст.

Через тиждень, на початку березня, пацієнт отримав результат розширеного лабораторного обстеження на TORCH-інфекції, виконаного в третій незалежній лабораторії. Дані вказали на значне підвищення показників IgA (> 7 МО/мл при нормі до 1,1 МО/мл), IgM (3,15 МО/мл при нормі до 1,0 МО/мл), IgG (732,5 МО/мл при нормі до 3,0 МО/мл) до токсоплазми. При цьому ВОТ, виміряний пневмотонометром, становив 56 мм рт.ст. Пацієнту було введено 0,5 мл бетаметазону парабульбарно.

Не відчувуючи поліпшення, пацієнт самостійно звернувся до лікаря-інфекціоніста та наприкінці квітня був госпіталізований до інфекційного відділення з діагнозом:

— основний: B58.0. Токсоплазмоз з ураженням очей;

— ускладнення: гострий увеїт лівого ока. Вторинна увеальна глаукома лівого ока.

Пацієнту було призначено: бісептол, азитроміцин, метоклопрамід, фолієва кислота, фуросемід, омепразол, адецикол.

Під час стаціонарного лікування пацієнт був направлений на кафедру очних хвороб ВНМУ ім. М.І. Пирогова для додаткової консультації з приводу лікування лівого ока. При огляді встановлено таке.

Гострота зору: правого ока 1,0, лівого ока 0,3 н/к; ВОТ: правого ока 16 мм рт.ст. (пневмотонометрія), лівого ока ++.

Об'єктивно: праве око без особливостей, ліве око: преципітати по задній поверхні рогівки (рис. 1), передня камера середньої глибини, зіниця округла, на світло реагує, неоваскуляризація райдужки та кута передньої камери, гоніосинехії (гоніоскопічно), кришталік з субкапсулярним помутнінням, незначна деструкція склистого тіла (за даними УЗД), розширена фундускопія не виявила хоріоретинальних вогнищ, зміни ДЗН лівого ока включали незначне збліднення (порівняно з правим оком) та розширену екскавацію.

Рекомендовано:

1. Відмінити інстиляції латанопросту, оскільки латанопрост є аналогом простагландинів, які беруть активну участь в каскаді арахідонової кислоти, потенціюючи запальний процес.

2. Трансклеральна циклофотокоеагуляція лівого ока після попередньої підготовки шляхом введення anti-VEGF-препарату (згідно зі світовою практикою) за 5–7 днів до процедури.

Через тиждень після проведеного лікування ВОТ пацієнта на лівому оці, виміряний пневмотонометром, становив 10,5 мм рт.ст. Ще через тиждень тиск на лівому оці становив 13,0 мм рт.ст. (пневмотонометрія).

При контрольному огляді через 1 місяць після лікування (середина червня 2026 р.): гострота зору правого ока — 1,0, лівого ока — 0,6 н/к. ВОТ правого ока — 16 мм рт.ст., лівого — 33 мм рт.ст. (пневмотонометрія). Об'єктивно: праве око — без особливостей,

ліве око — залишки преципітатів по задній поверхні рогівки, «ніжна» неоваскуляризація райдужки, зіниця кругла, на світло реагує. Пацієнту було призначено інстиляції комбінованого гіпотензивного препарату (дорзоламід + тимолол) 2 р/д в ліве око та повторний огляд через 1 місяць.

Станом на вересень 2026 р. пацієнт на повторну консультацію не з'явився.

Обговорення

T. gondii має двофазний життєвий цикл: статевий — у кінцевого хазяїна (тварин роду котячих) та безстатевий — у людей та інших ссавців, які є проміжними хазяями. Кішки заражаються, ковтаючи ооцисти, що розмножуються в їхньому кишечнику, та стають заразними через 24–48 годин, залежно від температури та вологості. Люди, які контактують з котячими фекаліями, водою, термічно необробленим м'ясом, фруктами чи овочами, забрудненими ооцистами *T. gondii*, можуть ненавмисно їх проковтнути. У ШКТ проміжного хазяїна ооцисти розриваються, вивільняючи спорозоїти, які діляться та перетворюються на тахізоїти, що поширюються по всьому тілу, провокуючи активну тканинну інфекцію. За достатньої імунної відповіді формуються тканинні кісти, що містять брідизоїти, які є низькореплікаційними формами паразита та викликають латентну інфекцію. Тканинні кісти вказують на хронічну стадію інфекції та зберігаються протягом тривалого часу в організмі хазяїна, викликаючи безперервну стимуляцію імунної системи, що призводить до захисної, хоча й не стерилізуючої імунної відповіді. Однак брідизоїти здатні до трансформації в тахізоїти після вивільнення з тканинних кіст, тому фаза активного запального процесу може проявлятися через будь-який період після зараження та первинного прояву інфекції [8].

При набутих інфекціях основну роль відіграє шлунково-кишковий тракт — після інфікування тонкого кишечника *T. gondii* кровотоком розноситься по організму, долаючи гематоенцефалічний та гематоофтальмічний бар'єри, та проникає в органи-мішені [9].

Сьогодні описано щонайменше три шляхи потрапляння паразитів до ока: перенос тахізоїтів лейкоцитами, парацелюлярний шлях та через судинну систему хоріоїдеї, проходячи через зовнішній гематоретинальний бар'єр, утворений пігментним епітелієм сітківки. Далі тахізоїти, проходячи через зовнішні шари сітківки, поширюються у її внутрішні шари [10]. Складнішим у розумінні є патогенез ізольованого переднього увеїту, асоційованого з токсоплазмозом інфекцією. Однак незважаючи на зону ураження, активний запальний процес потребує призначення етіотропного лікування.

Згідно з даними літератури, у кожного третього пацієнта з увеїтом виявляється підвищення внутрішньоочного тиску ≥ 21 мм рт.ст., а у кожного сьомого — понад 30 мм рт.ст. протягом двох років від дебюту запального процесу [11].

Аналізуючи дані літератури, Nishio й співавт. дійшли низки висновків та рекомендацій щодо ведення пацієнтів з увеїтом та підвищенням ВОТ [11]. Наявність актив-

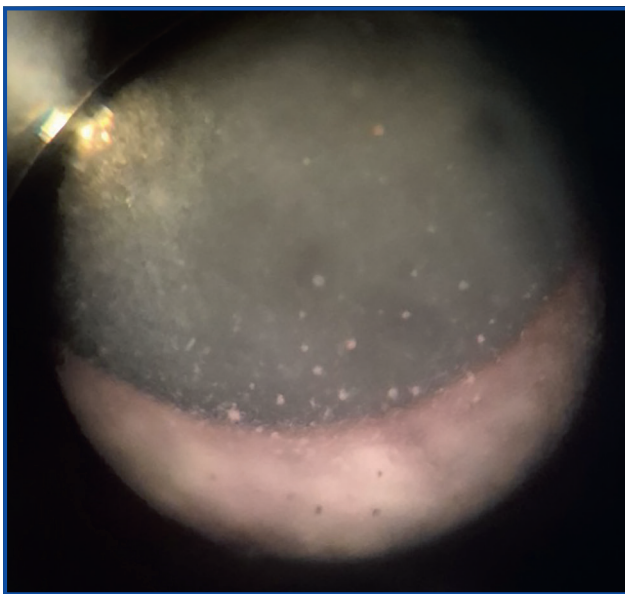


Рисунок 1. Біомікроскопія лівого ока (квітень 2026 р.)

ного запального процесу та підвищеного ВОТ потребує двостороннього підходу у лікуванні пацієнтів: контроль запалення та зниження ВОТ. На початкових стадіях захворювання, коли наявний активний запальний процес, у першу чергу приділяється увага його блокуванню, тоді як для контролю ВОТ використовують гіпотензивні очні краплі. У міру визначення провокуючого запалення фактора приділяється увага його контролю, при цьому ВОТ продовжують контролювати місцевою терапією. Нарешті, коли запалення переходить в стадію ремісії, розглядається можливість хірургічного підходу для зниження ВОТ, одночасно продовжується проти-запальна терапія.

Проведення лазерних процедур у куті передньої камери ока є виправданим лише у випадку наявності гоніосинехій для їх розсічення. Інші лазерні процедури (ALT, SLT) є протипоказаними, оскільки при низькій ефективності зниження ВОТ провокує значне посилення запального процесу (у наведеному випадку на другу добу після SLT зафіксовано ВОТ на лівому оці понад 60 мм рт.ст.).

Відповідно до даних літератури, синустрабекулектомія є золотим стандартом хірургічного лікування пацієнтів з постувеальною глаукомою, хоча частота успішного результату залишається низькою. Використання мітоміцину С значно поліпшило результати оперативного втручання з приводу вторинної постувеальної глаукоми [12].

Усе більшої популярності сьогодні набуває новий напрям контролю увеїту — імуносупресивна терапія, яка дозволяє, окрім опосередкованого впливу на контроль ВОТ, більш безпечно проводити оперативне втручання з приводу вторинної глаукоми [11].

Альтернативою класичної синустрабекулектомії для зниження ВОТ у пацієнтів з вторинною постувеальною глаукомою є трансклеральна циклофотокоагуляція. Запалення, яке провокується цією процедурою, тимчасове та самообмежувальне, порівняно з повноцінною блеб-формуючою хірургією. Причому за можливості проведення мікроімпульсної процедури індукований запальний процес буде найменшим [13].

Необхідно відмітити, що постувеальна глаукома має складнощі не лише у питанні лікування. Правильна діагностика часто теж має значні складнощі.

На початкових етапах клінічна картина постувеальної вторинної глаукоми потребує диференційної діагностики з синдромом Познера — Шлоссмана (глаукомо-циклітичним кризом), який притаманний пацієнтам молодого віку. Обидва захворювання проявляються характерними скаргами пацієнтів на затуманення зору та очним дискомфортом, наявністю преципітатів на задній поверхні рогівки та різким підвищенням внутрішньоочного тиску. Однак на відміну від прогресуючої вторинної глаукоми синдром Познера — Шлоссмана характеризується додатково скаргами на появу райдужних кіл навколо джерела світла, нормалізацією ВОТ у періоди ремісії, а також відсутністю змін полів зору. Для цього захворювання характерним є спонтанне завершення епізоду, що триває від кількох годин до кількох тижнів [14].

Висновок

Вторинна глаукома — захворювання, що важко піддається контролю та лікуванню. Вторинна постувеальна глаукома потребує не лише низки заходів, направлених на контроль ВОТ, але й заходів, спрямованих на контроль запалення. Дуже часто ці два підходи ускладнюють можливості один одного.

Поетапність визначення запального процесу, його контроль та усунення (пригнічення) з одночасним контролем ВОТ та подальший підхід у лікуванні вторинної глаукоми є складним та потребує уваги і всебічної обізнаності клініциста.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та фінансової зацікавленості при написанні даної статті.

Внесок авторів. Гріжимальська К.Ю. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Комаровська І.В. — аналіз даних, написання тексту; Андрушкова О.О. — збір матеріалів і аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

1. Niederer, R.L., Wong, A.B.C., Ma, T., Chew, S., & Sims, J. (2023). Predictors of glaucoma in patients with uveitis and scleritis. *Eye*, 37(6), 1254-1257. <https://doi.org/10.1038/s41433-022-02101-7>.
2. Rathore, R.S., Gupta, R.C., Gupta, A., Singh, L.K., Dwivedi, J., Singh, G., & Malik, A. (2026). Clinical profile of secondary glaucoma and its management in a tertiary eye care center: A hospital-based prospective study. *Saudi Journal of Ophthalmology*, 10-4103. DOI: 10.4103/sjopt.sjopt_45_25.
3. Agrawal, K., Hong, A.S.Y., Cifuentes-González, C., Kumar, V.S., Rojas-Carabali, W., Zhang, S., ... & Agrawal, R. (2025). Microbiome signatures and their role in uveitis: Pathogenesis, diagnostics, and therapeutic perspectives. *Progress in Retinal and Eye Research*, 101409. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2025.101409>.
4. Han, J., Harper, J., Copland, D.A., & Maghsoudlou, P. (2026). The Immunopathogenesis of uveitis. *Frontiers in Medicine*, 13, 1717056. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1717056>.
5. Neves, E.S., Bicudo, L.N., Curi, A.L., Carregal, E., Bueno, W.F., Ferreira, R.G., ... & Fernandes, O. (2009). Acute acquired toxoplasmosis: clinical-laboratorial aspects and ophthalmologic evaluation in a cohort of immunocompetent patients. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 104(2), 393-396. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762009000200039>.
6. Boyd, K., Condrey, K., Rosa Hernandez, A., Austhof, E., Lin, L., Dehnobostel, J., ... & Pogreba-Brown, K. (2025). Ocular toxoplasmosis infection leading to uveitis or chorioretinal lesions: a systematic review. *Foodborne Pathogens and Disease*, 15353141251382884. <https://doi.org/10.1177/15353141251382884>.
7. Bertrand, P.J., Jamilloux, Y., Ecochard, R., Richard-Colmant, G., Gerfaud-Valentin, M., Guillaud, M., ... & Sève, P. (2019). Uveitis: Autoimmunity... and beyond. *Autoimmunity Reviews*, 18(9), 102351. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2019.102351>.
8. Goh, E.J.H., Putera, I., La Distia Nora, R., Mahendradas, P., Biswas, J., Chee, S.P., ... & Agrawal, R. (2023). Ocular toxoplasmosis. *Ocular Immunology and Inflammation*, 31(7), 1342-1361. <https://doi.org/10.1080/09273948.2022.2117705>.

9. Lachenmaier, S.M., Deli, M.A., Meissner, M., & Liesenfeld, O. (2011). Intracellular transport of *Toxoplasma gondii* through the blood–brain barrier. *Journal of Neuroimmunology*, 232(1-2), 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroim.2010.10.029>.

10. Rodriguez Fernandez, V., Casini, G., & Bruschi, F. (2021). Ocular toxoplasmosis: mechanisms of retinal infection and experimental models. *Parasitologia*, 1(2), 50-60. <https://doi.org/10.3390/parasitologia1020007>.

11. Nishio, Y., Tauchi, M., Suga, R., Shiratori, N., Nakamoto, K., Okamoto, F., & Hori, J. (2025). Factors associated with the avoidance of glaucoma surgery in secondary glaucoma due to ocular inflammatory disease. *Journal of Ophthalmic Inflammation and Infection*, 15(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12348-025-00551-0>.

12. Almobarak, F.A., Alharbi, A.H., Morales, J., & Aljadaan, I. (2018). The influence of mitomycin C concentration on the outcome

of trabeculectomy in uveitic glaucoma. *International Ophthalmology*, 38(6), 2371-2379. <https://doi.org/10.1007/s10792-017-0737-6>.

13. Narainswami, N., Chavez, M.P., Sperotto, P.H.F., Alves, N.R., Lopes, G.M.M., de Carvalho Mazzocato, E., ... & Khodeiry, M. (2026). Slow-Coagulation Cyclophotocoagulation versus Conventional Continuous Wave Cyclophotocoagulation and Micropulse Cyclophotocoagulation for the Treatment of Glaucoma: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Glaucoma*, 35(7), 485-492. DOI: 10.1097/IJG.0000000000002710.

14. Ye, Z., Yang, Y., Ke, W., Li, Y., Wang, K., & Chen, M. (2023). Overview and update on cytomegalovirus-associated anterior uveitis and glaucoma. *Frontiers in Public Health*, 11, 1117412. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1117412>.

Отримано/Received 04.08.2026

Рецензовано/Revised 12.09.2026

Прийнято до друку/Accepted 18.09.2026

Information about authors

Kateryna Hrizhymalska, PhD in Medicine, Associate Professor, Head of the Department of Ophthalmology, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: gkayarina@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-0579-0645>

Inna Komarovska, PhD, Ass. Prof. of the Department of Ophthalmology, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: innabaldynyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0602-5087>

Olga Andrushkova, PhD, Ass. Prof. of the Department of Internal and Family Medicine, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: androlga@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-0272-7296>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

K.Yu. Hrizhymalska, I.V. Komarovska, O.O. Andrushkova
Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine

Secondary glaucoma as a rare complication of toxoplasmic uveitis

Abstract. Background. Secondary post-uveitic glaucoma is a severe complication of uveitis that requires simultaneous control of intraocular pressure and the active inflammatory process. This article presents a clinical case of the diagnosis and treatment of secondary uveitic glaucoma associated with ocular toxoplasmosis, with a critical analysis of the sequence of therapeutic interventions. The purpose was to present the diagnostic and therapeutic features of secondary post-uveitic glaucoma associated with ocular toxoplasmosis and to analyze the efficacy and potential risks of the methods used to control intraocular pressure. **Materials and methods.** A clinical case of a patient with acute uveitis and secondary uveitic glaucoma of the left eye was analyzed. Patient complaints, medical history, visual acuity, intraocular pressure, biomicroscopy, gonioscopy, perimetry, ultrasonography, and laboratory testing for TORCH infections were assessed. The course of the disease during medical treatment and surgical interventions was analyzed. **Results.** At the initial stage of the disease, open-angle glaucoma of the left eye was diagnosed, with intraocular pressure elevated to 43 mmHg and suspected inflammatory involvement, which had not received suf-

ficient attention. Subsequently, signs of active iridocyclitis, corneal endothelial precipitates, iris neovascularization, and goniosynechia were detected. Laboratory investigations contributed to the diagnosis of ocular toxoplasmosis. Analysis and adjustment of medical therapy, together with appropriately selected surgical management, resulted in a reduction in intraocular pressure to 10.5–13.0 mmHg during the early postoperative period. One month later, intraocular pressure was 33 mmHg, and visual acuity in the left eye improved to 0.6 without correction. No further follow-up was performed. **Conclusions.** Secondary post-uveitic glaucoma requires a comprehensive approach involving control of intraocular pressure and active inflammation. Clinical diagnosis may be challenging because of similarities with other forms of secondary glaucoma, particularly Posner-Schlossman syndrome. This case demonstrates the need for timely clarification of the etiology of uveitis, careful selection of laser and surgical treatment methods, and dynamic follow-up of patients at high risk of glaucomatous optic neuropathy progression. **Keywords:** toxoplasmic iridocyclitis; post-uveitic glaucoma; secondary glaucoma

Гузун О.В.¹, Коновалова Н.В.²¹ ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України», м. Одеса, Україна² Одеський національний медичний університет, м. Одеса, Україна

Cumulative Burden Index як інтегральний маркер резистентного перебігу неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції: проспективне 36-місячне дослідження

Резюме. Актуальність. Неваскулярна глаукома характеризується агресивним перебігом, високою частотою повторних хірургічних втручань та значною варіабельністю довгострокових результатів лікування. Кумулятивна складність терапії може відображати біологічну резистентність захворювання. Інтегральна оцінка лікувального навантаження може мати прогностичне значення для результатів трансклеральної циклофотокоагуляції. **Мета дослідження:** оцінити прогностичне значення індексу лікувального навантаження (Cumulative Burden Index, CBI) як інтегрального маркера резистентності перебігу неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції. **Матеріали та методи.** Проведено проспективне когортне дослідження, яке включало 224 пацієнтів (224 ока) із неоваскулярною глаукомою, яким виконували трансклеральну циклофотокоагуляцію. Період спостереження становив 36 місяців. CBI визначали як суму кількості курсів циклофотокоагуляції та індексу тяжкості клінічних ускладнень, пов'язаних з перебігом захворювання. Незалежні предиктори неефективного результату лікування визначали за допомогою багатфакторної логістичної регресії. Дискримінаційну здатність показника оцінювали за допомогою ROC-аналізу. **Результати.** Через 36 місяців ефективний результат лікування було досягнуто у 155 пацієнтів (69,2 %), тоді як у 69 пацієнтів (30,8 %) лікування було неефективним. Середній CBI становив 3,9 у групі ефективного лікування та 6,6 у групі резистентного лікування ($p < 0,001$). У багатфакторній логістичній регресійній моделі CBI був незалежним предиктором резистентного лікування ($OR = 1,58$; 95% ДІ 1,32–1,90; $p < 0,001$). ROC-аналіз продемонстрував високу прогностичну точність показника ($AUC = 0,84$; 95% ДІ 0,79–0,89). Оптимальне порогове значення $CBI \geq 5$ забезпечувало чутливість 78 % та специфічність 81 %. **Висновки.** Індекс лікувального навантаження (Cumulative Burden Index, CBI) є інтегральним показником, що відображає кумулятивну складність лікування при неоваскулярній глаукомі. Підвищення значення CBI асоціюється з вищим ризиком резистентного до лікування перебігу після трансклеральної циклофотокоагуляції. Індекс може бути використаний для клінічної стратифікації ризику у цієї категорії пацієнтів.

Ключові слова: неоваскулярна глаукома; діабетична ретинопатія; оклюзія вен сітківки; трансклеральна циклофотокоагуляція; лікувальне навантаження; Cumulative Burden Index; прогностичні моделі; ROC-аналіз; внутрішньоочний тиск

Вступ

Неоваскулярна глаукома (НВГ) є однією з найбільш агресивних форм вторинної глаукоми та тяжким ускладненням ішемічних захворювань сітківки, зокрема проліферативної діабетичної ретинопатії та оклюзії вен сітківки. Патогенез захворювання пов'язаний з гіпоксією сітківки та підвищеною експресією

судинного ендотеліального фактора росту (VEGF), що стимулює неоваскуляризацію райдужки та кута передньої камери ока [1, 2]. Формування фіброзно-васкулярної мембрани у трабекулярній мережі призводить до прогресуючого підвищення внутрішньоочного тиску (ВОТ) та швидкого погіршення зорових функцій [3].

Лікування неоваскулярної глаукоми залишається складним клінічним завданням через мультифакторний характер її патогенезу, який включає ішемію сітківки, VEGF-опосередковану ангіогенну активність, запальні механізми та структурну перебудову дренажної системи ока [4, 5]. Крім того, останні дослідження демонструють, що ремоделювання циліарного тіла та системне запалення можуть відігравати важливу роль у патогенезі неоваскулярної глаукоми та визначати її клінічний перебіг [6]. Стандартна терапія зазвичай включає пан-ретинальну лазеркоагуляцію, інтравітреальне введення анти-VEGF-препаратів та хірургічні методи контролю ВОТ [5, 7].

Трансклеральна циклофотокоагуляція (ТСК ЦФК) є широко застосовуваним методом лікування рефрактерних форм глаукоми. Механізм її дії полягає у частковій деструкції циліарного тіла з подальшим зниженням продукції водянистої вологи та ВОТ. Клінічні дослідження демонструють, що застосування діодної трансклеральної циклофотокоагуляції дозволяє досягти довготривалого контролю ВОТ у значної частини пацієнтів з рефрактерною глаукомою, включаючи НВГ [8–10].

Однак результати лікування залишаються варіабельними. За даними сучасних клінічних досліджень, частка пацієнтів, які потребують повторних процедур після ТСК ЦФК, може становити від 30 до 60 % [8, 11, 12]. У деяких серіях довготривалий успіх лікування при НВГ становить приблизно 55–65 % [13].

У більшості попередніх досліджень основна увага приділялася оцінці гіпотензивного ефекту ТСК ЦФК та частоті післяопераційних ускладнень. Водночас клінічний перебіг НВГ часто характеризується необхідністю повторних хірургічних втручань, що може відображати резистентність патологічного процесу та складність його контролю.

Концепція лікувального навантаження (treatment burden) широко використовується у дослідженнях хронічних захворювань і відображає сумарну складність лікування, включаючи інтенсивність терапії, частоту втручань та ризик ускладнень [14, 15]. У клінічній офтальмології цей підхід може бути корисним для інтегрального оцінювання складності лікування та його потенційного впливу на клінічні результати.

З огляду на це можна припустити, що висока інтенсивність лікування при НВГ може відображати більш агресивний біологічний фенотип захворювання, пов'язаний із персистуючою ішемією сітківки, підвищеною VEGF-активністю та прогресуючою неоваскуляризацією. У такому випадку інтегральна оцінка лікувального навантаження може мати прогностичне значення для результатів хірургічного лікування.

У зв'язку з цим перспективним є використання інтегральних показників, які дозволяють кількісно оцінити кумулятивну складність лікування. Одним із таких показників може бути індекс лікувального навантаження (Cumulative Burden Index, CBI), що поєднує інформацію про кількість виконаних хірургічних втручань та тяжкість післяопераційних ускладнень.

Водночас у сучасній літературі практично відсутні дослідження, присвячені оцінці кумулятивного лікувального навантаження як інтегрального маркера тяжкості перебігу НВГ та його можливого прогностичного значення щодо результатів ТСК ЦФК.

Мета дослідження: оцінити прогностичне значення індексу лікувального навантаження (Cumulative Burden Index, CBI) як інтегрального маркера резистентності перебігу неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції.

Матеріали та методи

Дизайн дослідження

Дослідження виконано як проспективне когортне одноцентрове спостереження пацієнтів із НВГ, яким проводили ТСК ЦФК з подальшим 36-місячним спостереженням.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження схвалено локальним комітетом з біоетики. Усі пацієнти надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

Критерії включення

У дослідження включали пацієнтів з підтвердженим клінічним діагнозом неоваскулярної глаукоми за наявності:

- повних даних щодо вихідного рівня внутрішньочесного тиску;
- інформації про кількість виконаних курсів циклофотокоагуляції;
- даних щодо доопераційних та ускладнень протягом 36 місяців;
- результатів клінічного спостереження протягом 36 місяців.

Пацієнти з відсутніми ключовими змінними не включалися до багатофакторного аналізу.

Клінічне обстеження

Усім пацієнтам проводили стандартне офтальмологічне обстеження, що включало визначення максимального коригованої гостроти зору (МКГЗ), тонометрію за Гольдманом, біомікроскопію переднього відрізка ока, офтальмоскопію.

ВОТ визначали на вихідному рівні та під час контрольних візитів протягом періоду спостереження.

Лікування

ТСК ЦФК виконували з використанням діодного лазера з довжиною хвилі 810 нм (потужність 1000–1500 мВт, тривалість імпульсу 2,0 с, 18–24 аплікації на дузі приблизно 270°) за модифікованою методикою, описаною раніше [16].

Кількість повторних курсів визначали індивідуально залежно від клінічної відповіді на лікування.

Формування індексу лікувального навантаження

CBI розраховували як інтегральний кумулятивний показник, що включав кількість виконаних курсів трансклеральної циклофотокоагуляції та тяжкість клінічних ускладнень, пов'язаних із перебігом неоваскулярної глаукоми. До оцінки включали ускладнення, що могли бути наявні до початку лікування або виникати під час подальшого спостереження, оскільки вони відображають загальну складність клінічного перебігу захворювання.

Кінцева точка
Аналіз успіху лікування проводили через 36 місяців (V36). Успіхом (Success) вважали досягнення рівня VOT ≤ 21 мм рт.ст., збереження/поліпшення МКГЗ через 36 місяців спостереження, відсутність очного болю.

Показником неефективного (Failure) лікування після проведення ТСК ЦФК були пацієнти з резистентним перебігом НВГ: VOT на рівні > 21 мм рт.ст., незважаючи на місцеве гіпотензивне лікування; зниження вхідного показника МКГЗ; необхідність подальшого хірургічного втручання протягом 36 місяців спостереження.

Статистичний аналіз
Статистичний аналіз отриманих даних проводили з використанням статистичного програмного забезпечення JASP з відкритим кодом для Windows. Описова статистика для категоріальних даних була подана з використанням частот (n) і відсотків (%). Кількісні змінні подано як медіану та міжквартильний інтервал (mean $\pm$ SD). Для порівняння груп використовували U-критерій Mann-Whitney або χ^2 -тест. Незалежні предиктори неефективного результату лікування визначали за допомогою багатовисхідної логістичної регресії. Дискримінаційну здатність CBI оцінювали за допомогою ROC-аналізу. Оптимальне порогове значення визначали за індексом Youden.

Статистично значущими вважали результати при $p < 0,05$.

Результати

Характеристика вибірки
У дослідження включено 224 пацієнти (224 ока) із вторинною неоваскулярною глаукомою віком 64 (61; 67) роки, яким виконували ТСК ЦФК з подальшим 36-місячним спостереженням. На 133 очах діагностована НВГ на тлі проліферативної діабетичної ретинопатії, та на 91 оці — НВГ внаслідок оклюзії вен сітківки.
Через 36 місяців ефективний результат лікування було досягнуто на 155 очах (69,2 %), тоді як у 69 пацієнтів (30,8 %) було визначено формування резистентного перебігу НВГ (класифіковано як неефективне).

Таблиця 1. Характеристика лікувального навантаження у пацієнтів з ефективним лікуванням та резистентним перебігом вторинної неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції

Показник	Success	Failure	p
Кількість курсів ТСК ЦФК	3,00 $\pm$ 0,11	4,75 $\pm$ 0,83	$< 0,001$
Індекс тяжкості ускладнень	0,90 $\pm$ 0,49	1,80 $\pm$ 0,28	$< 0,001$
Cumulative Burden Index	3,9 (3,1–4,8)	6,6 (5,4–7,9)	$< 0,001$

Примітки: дані наведено у вигляді $M \pm SD$ або медіани (Me) та міжквартильного інтервалу (Q1–Q3) залежно від характеру розподілу показників; статистичне порівняння між групами виконано за допомогою U-критерію Mann-Whitney або χ^2 .

Таблиця 2. Динаміка внутрішньоочного тиску та регрес рубеозу райдужки у групах дослідження

Показник	Success	Failure	p
VOT baseline, мм рт.ст.	33 (32; 36)	40 (28; 42)	$< 0,001$
VOT через 24 міс., мм рт.ст.	19 (17; 21)	24 (20; 28)	$< 0,001$
VOT через 36 міс., мм рт.ст.	18 (17; 21)	24 (21; 28)	$< 0,001$
Регрес рубеозу райдужки, %	49,7	5,8	$< 0,001$

Примітки: показники внутрішньоочного тиску наведені у вигляді медіани (Me) та квартилів (Q25; Q75) у відповідних групах; статистичне порівняння між групами виконано за допомогою U-критерію Mann-Whitney.

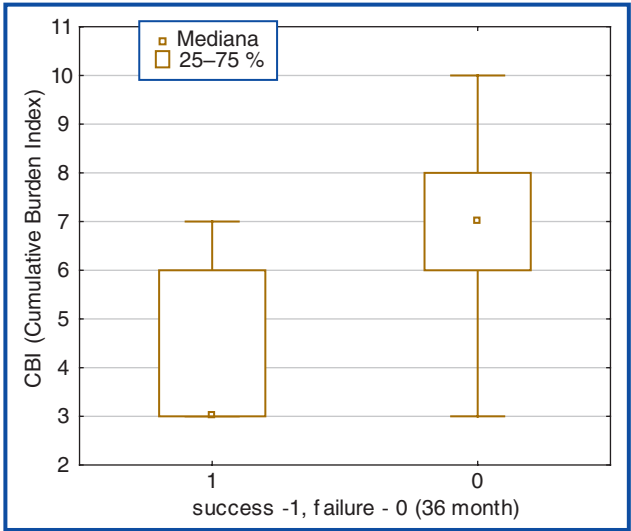


Рисунок 1. Розподіл Cumulative Burden Index (CBI) у пацієнтів з ефективним лікуванням та резистентним перебігом вторинної неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції

Пацієнти з резистентним перебігом характеризувалися вищим вихідним рівнем VOT, гіршим метаболічним контролем та більш вираженим рубеозом райдужки.

Лікувальне навантаження
Середня кількість курсів трансклеральної циклофотокоагуляції протягом 36-місячного періоду становила 3,0 у групі ефективного лікування та 4,75 у групі з резистентним перебігом НВГ.
Характеристика лікувального навантаження у пацієнтів з ефективним лікуванням та резистентним перебігом неоваскулярної глаукоми після ТСК ЦФК подана у табл. 1.
Клінічні ускладнення, наявні на початку лікування або зареєстровані під час подальшого спостереження, виявляли у 39,4 % пацієнтів групи Success та у 91,3 % пацієнтів групи Failure.
Середній CBI був у 1,7 раза вищим у групі з резистентним перебігом захворювання ($p < 0,001$) (рис. 1).

Динаміка внутрішньоочного тиску

Вихідний рівень ВОТ був значно вищим у групі з резистентним перебігом (40 проти 33 мм рт.ст., $p < 0,001$). Через 36 місяців цей показник знизився до 18 та 24 мм рт.ст. відповідно у групах Success та Failure ($p < 0,001$).

Крім того, регрес рубеозу райдужки спостерігався значно частіше у пацієнтів з ефективним результатом лікування (49,7 проти 5,8 %; $p < 0,001$) (табл. 2).

У групі пацієнтів із резистентним перебігом лікування НВГ показник СВІ був вірогідно вищим порівняно з групою стабільного контролю ВОТ.

Предиктори резистентного перебігу лікування НВГ

У багатофакторній логістичній регресійній моделі незалежними предикторами неефективного результату лікування були:

- СВІ;
- вихідний ВОТ;
- рівень HbA1c;
- вираженість рубеозу райдужки;
- НВГ, асоційована з оклюзією вен сітківки.

У багатофакторній логістичній регресійній моделі підвищення СВІ на один бал супроводжувалося збільшенням ризику формування резистентного перебігу захворювання на 58 % (OR = 1,58; 95% ДІ 1,32–1,90; $p < 0,001$) (табл. 3).

ROC-аналіз

Розрізнення моделі оцінювали за допомогою ROC-аналізу. Калібрування оцінювали за допомогою калібрувальних графіків, а клінічну корисність досліджували за допомогою аналізу кривої прийняття рішень.

ROC-аналіз продемонстрував добру дискримінаційну здатність індексу лікувального навантаження щодо прогнозування резистентного перебігу НВГ (AUC = 0,84; 95% ДІ 0,79–0,89). Оптимальне порогове значення СВІ ≥ 5 забезпечувало чутливість 78 % та специфічність 81 %. ROC-крива показана на рис. 2.

Отримані результати свідчать про те, що кумулятивне лікувальне навантаження може відображати не лише інтенсивність терапії, а й біологічну агресивність патологічного процесу при вторинній неоваскулярній глаукомі.

Обговорення

У поданому проспективному когортному дослідженні проаналізовано довгострокові результати транссклеральної циклофотокоагуляції у пацієнтів з вторинною неоваскулярною глаукомою з урахуванням кумулятивної складності лікування. Основним результатом роботи

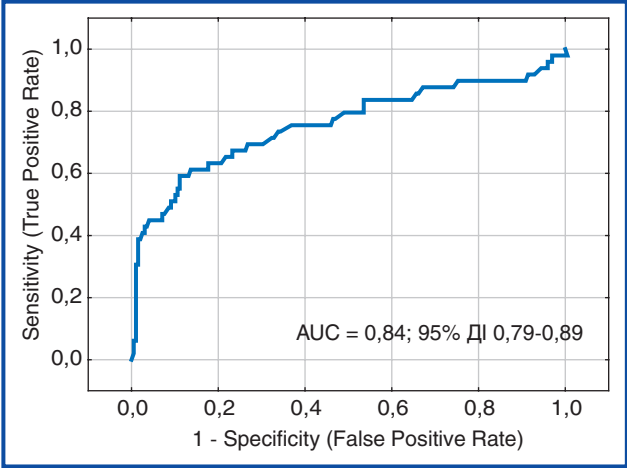


Рисунок 2. ROC-крива прогностичної здатності індексу лікувального навантаження щодо прогнозування резистентного перебігу вторинної неоваскулярної глаукоми після транссклеральної циклофотокоагуляції (AUC = 0,84; 95% ДІ 0,79–0,89)

стало обґрунтування СВІ як інтегрального кумулятивного маркера складності лікування та потенційного предиктора несприятливого клінічного перебігу.

Отримані результати демонструють, що пацієнти з несприятливим довгостроковим результатом характеризуються значно вищим рівнем лікувального навантаження. У нашому дослідженні середній показник СВІ у групі резистентного лікування був майже удвічі вищим порівняно з групою успішного лікування. Це зумовлювалося як більшою кількістю повторних курсів ЦФК, так і значно вищою частотою та тяжкістю ускладнень.

НВГ є однією з найбільш агресивних форм вторинної глаукоми та розвивається внаслідок ішемічних захворювань сітківки. Основним патогенетичним механізмом є VEGF-опосередкована неоваскуляризація райдужки та кута передньої камери ока, що призводить до формування фіброзно-васкулярної мембрани у трабекулярній мережі та прогресуючого підвищення ВОТ [1–3].

ТСК ЦФК широко використовується для лікування рефрактерних форм глаукоми та дозволяє ефективно знижувати ВОТ шляхом деструкції циліарного тіла. За даними попередніх досліджень, частка пацієнтів, які потребують повторних процедур після ТСК ЦФК, може становити від 30 до 60 % [8, 11]. У клінічних серіях з тривалим спостереженням рівень успіху лікування при НВГ становить приблизно 55–65 % [12, 13], що

Таблиця 3. Багатофакторний логістичний регресійний аналіз предикторів неефективного результату лікування

Предиктор	OR	95% ДІ	p
СВІ	1,58	1,32–1,90	< 0,001
Вихідний рівень ВОТ	1,07	1,03–1,12	0,002
HbA1c	1,24	1,11–1,40	< 0,001
Рубеоз райдужки (Weiss)	1,69	1,18–2,42	0,004
НВГ, асоційована з оклюзією вен сітківки	2,11	1,14–3,89	0,017

Примітка: подано результати багатофакторного логістичного регресійного аналізу факторів, асоційованих із формуванням резистентного перебігу вторинної неоваскулярної глаукоми через 36 місяців після транссклеральної циклофотокоагуляції.

узгоджується з отриманими нами результатами. Подібні результати були продемонстровані й у сучасних клінічних дослідженнях, у яких застосування ТСК ЦФК забезпечувало значне зниження ВОР та довготривалий контроль захворювання у пацієнтів з рефрактерними формами глаукоми, включаючи НВГ [17].

Важливим результатом нашого дослідження стало встановлення незалежної прогностичної ролі індексу лікувального навантаження. У багатофакторній логістичній регресійній моделі підвищення Cumulative Burden Index на один бал супроводжувалося зростанням ризику резистентного результату лікування на 58 %. ROC-аналіз також підтвердив високу дискримінаційну здатність показника ($AUC = 0,84$), що свідчить про його потенційну клінічну цінність для стратифікації ризику.

Концепція лікувального навантаження широко застосовується у дослідженнях хронічних захворювань і відображає сумарну складність терапії, включаючи частоту втручань, інтенсивність лікування та ризик ускладнень [14, 15]. У контексті НВГ інтегральна оцінка лікувального навантаження може відображати не лише інтенсивність терапії, а й біологічну агресивність патологічного процесу. Водночас результати лікування залишаються гетерогенними, що, ймовірно, пов'язано з різною активністю ішемічних та ангіогенних механізмів у пацієнтів з НВГ [18].

Імовірно, високий СБІ є клінічним проявом більш агресивного патофізіологічного фенотипу НВГ. У пацієнтів з персистою ішемією сітківки, високою VEGF-активністю та вираженим запальним компонентом виникає потреба у більш інтенсивному лікуванні та повторних втручаннях. Сучасні клінічні серії також демонструють, що частина пацієнтів потребує повторних курсів циклофотокоагуляції для досягнення стабільного контролю ВОР, що підтверджує необхідність пошуку прогностичних факторів ефективності лікування [19]. У цьому контексті СБІ може розглядатися як інтегральний сурогатний маркер резистентності перебігу захворювання та може відображати кумулятивне біологічне та терапевтичне навантаження, пов'язане з агресивними фенотипами НВГ.

Крім того, наше дослідження підтвердило роль традиційних клінічних факторів ризику несприятливого результату лікування, зокрема високого вихідного рівня ВОР, вираженого рубцевої райдужки та порушення метаболічного контролю. Ці результати узгоджуються з сучасними уявленнями про мультифакторний характер патогенезу НВГ [4, 5]. Зокрема, у нещодавньому дослідженні було показано, що морфометричні зміни циліарного тіла за даними ультразвукової біомікроскопії асоціюються з системними показниками запалення у пацієнтів з НВГ, вторинною до діабетичної ретинопатії та оклюзії вен сітківки [6]. Такі структурно-функціональні зміни можуть відображати більш агресивний перебіг патологічного процесу та потенційно впливати на результати хірургічного лікування.

Отримані результати також відповідають сучасним подходам до розробки клінічних прогностичних моделей, які передбачають використання інтегральних показників та їх подальшу валідацію за допомогою

ROC-аналізу, калібрувальних кривих та методів оцінки клінічної корисності моделей [20–22].

Імовірно, високий СБІ відображає більш агресивний патофізіологічний фенотип НВГ, що характеризується персистою ішемією сітківки, високою ангіогенною активністю та необхідністю повторних втручань для контролю ВОР.

З клінічної точки зору оцінка лікувального навантаження може сприяти більш ранній ідентифікації пацієнтів з агресивним перебігом НВГ та оптимізації індивідуалізованої тактики лікування і подальшого спостереження.

Сильними сторонами цього дослідження є відносно велика когорта пацієнтів з НВГ, проспективний дизайн та тривалий період спостереження — 36 місяців. Однак є певні обмеження. По-перше, воно було виконане в одному центрі, що обмежує можливість екстраполяції отриманих результатів на інші популяції. По-друге, запропонований СБІ не враховує деякі компоненти лікувального процесу, зокрема медикаментозну терапію та частоту амбулаторних візитів. Крім того, запропонований СБІ відображає кумулятивні події протягом спостереження, тому частково може характеризувати перебіг захворювання, а не виключно початкову тяжкість патологічного процесу. Для остаточного підтвердження клінічної цінності індексу необхідна його зовнішня валідація у мультицентрових дослідженнях.

Висновки

Cumulative Burden Index є інтегральним показником, що відображає кумулятивну складність лікування у пацієнтів з вторинною неоваскулярною глаукомою та включає трансклеральну циклофотокоагуляцію і тяжкість клінічних ускладнень, пов'язаних із перебігом захворювання.

Підвищення значення СБІ вірогідно асоціюється з підвищеним ризиком формування резистентного перебігу вторинної неоваскулярної глаукоми після трансклеральної циклофотокоагуляції. У багатофакторній логістичній моделі збільшення СБІ на один бал супроводжувалося підвищенням ризику резистентності до лікування на 58 % ($OR = 1,58$; 95% ДІ 1,32–1,90; $p < 0,001$).

СБІ має добру прогностичну здатність ($AUC = 0,84$; 95% ДІ 0,79–0,89) і може використовуватися для клінічної стратифікації ризику у пацієнтів з вторинною неоваскулярною глаукомою.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Стаття є фрагментом комплексних науково-дослідних робіт, виконаних у межах діяльності відділу вивчення біологічної дії та використання лазерів в офтальмології ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України»: «Вивчити особливості змін структур переднього відділу ока, його кровообігу та теплообміну при неоваскулярній глаукомі й травмі» (номер держреєстрації 0119U101215, 2019–2021 роки) та «Вивчити структурні та функціональні зміни сітківки та судинної обо-

лонки у пацієнтів з дистрофічними та післязапальними захворюваннями сітчастої та судинної оболонок після лазерної та антиангіогенної терапії» (номер держреєстрації 0122U001490, 2022–2024 роки).

Внесок авторів. Гузун О.В. — концепція і дизайн статті, збір, обробка матеріалу та аналіз даних, написання тексту; Коновалова Н.В. — аналіз даних, концепція і дизайн статті, редагування тексту.

Список літератури

- Hayreh, S.S. (2007). Neovascular glaucoma. *Progress in Retinal and Eye Research*, 26(5), 470–485. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2007.06.001>.
- Aiello, L.P., Avery, R.L., Arrigg, P.G., Keyt, B.A., Jampel, H.D., Shah, S.T., et al. (1994). Vascular endothelial growth factor in ocular fluid of patients with diabetic retinopathy and other retinal disorders. *The New England Journal of Medicine*, 331(22), 1480–1487. <https://doi.org/10.1056/NEJM199412013312203>.
- Shazly, T.A., & Latina, M.A. (2009). Neovascular glaucoma: Etiology, diagnosis and prognosis. *Seminars in Ophthalmology*, 24(2), 113–121. <https://doi.org/10.1080/08820530902800707>.
- Weinreb, R.N., Aung, T., & Medeiros, F.A. (2014). The pathophysiology and treatment of glaucoma. *JAMA*, 311(18), 1901–1911. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3192>.
- Senthil, S., Garudadri, C.S., & Rao, H.L. (2021). Management of neovascular glaucoma. *Indian Journal of Ophthalmology*, 69(4), 1047–1056. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_2246_20.
- Guzun, O.V., Zadorozhnyy, O.S., Sytnikova, V.O., Konovalova, N.V., & Kovalchouk, A.G. (2026). Morphometry of the ciliary body and systemic inflammation in neovascular glaucoma secondary to diabetic retinopathy and/or retinal vein occlusion. *Ukrainian Journal of Ophthalmology*, (1), 46–54. <https://doi.org/10.31288/Ukrj.ophtalmol.202614654>.
- Kahook, M.Y., & Schuman, J.S. (2009). Medical and surgical management of neovascular glaucoma. *International Ophthalmology Clinics*, 49(4), 85–92. <https://doi.org/10.1097/HIO.0b013e3181b79d7f>.
- Rotchford, A.P., Jayasawal, R., Madhusudhan, S., Ho, S., & King, A.J. (2010). Transscleral diode laser cycloablation in patients with refractory glaucoma. *British Journal of Ophthalmology*, 94(9), 1180–1183. doi: 10.1136/bjo.2008.145565.
- Grueb, M., Rohrbach, J.M., Bartz-Schmidt, K.U., & Schlote, T. (2006). Long-term results of transscleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 244(12), 1463–1467. <https://doi.org/10.1007/s00417-006-0327-7>.
- Schlote, T., Dorse, M., Rassmann, K., Nicaeus, T., Dietz, K., & Thiel, H.J. (2001). Efficacy and safety of contact transscleral diode laser cyclophotocoagulation. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 239(10), 783–792. <https://doi.org/10.1007/s004170100336>.
- Aquino, M.C., Barton, K., Tan, A.M., Sng, C., Li, X., Loon, S.C., et al. (2015). Micropulse versus continuous-wave transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Ophthalmology*, 122(12), 2450–2457. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.08.029>.
- Khodeiry, M.M., Abdelrahman, A.M., & Hafez, T.A. (2023). Slow coagulation transscleral cyclophotocoagulation in neovascular glaucoma. *Journal of Glaucoma*, 32(4), 314–320. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002154>.
- Sari, C., Alagoz, N., Omeroglu, A., Cakir, I., Pasaoglu, I., Altan, C., et al. (2024). Long-term results of transscleral diode laser cyclophotocoagulation in glaucoma: A real-life study. *Journal of Glaucoma*, 33(6), 437–443. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002346>.
- Sav, A., Kendall, E., McMillan, S.S., Kelly, F., Whitty, J.A., King, M.A., et al. (2013). Treatment burden in chronic illness: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 13, 115. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-13-115>.
- Sav, A., McMillan, S.S., Kelly, F., King, M.A., Whitty, J.A., Kendall, E., et al. (2015). Treatment burden and chronic illness: Patients' perspectives. *The Patient*, 8(3), 239–250. <https://doi.org/10.1007/s40271-014-0103-2>.
- Guzun, O., Zadorozhnyy, O., Nasinnyk, I., & Korol, A. (2025). Efficacy of modified diode transscleral cyclophotocoagulation in patients with painful neovascular glaucoma secondary to retinal vein occlusion. *Journal of Ophthalmology (Ukraine)*, (3), 3–10. <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh20253310>.
- Sanchez, F.G., Peirano-Bonomi, J.C., & Grippo, T.M. (2022). Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: A review of the literature. *Clinical Ophthalmology*, 16, 2647–2656. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S347735>.
- Kuchar, S., Moster, M.R., Reamer, C.B., & Waisbourd, M. (2023). Treatment outcomes of transscleral cyclophotocoagulation in neovascular glaucoma. *Journal of Glaucoma*, 32(6), 451–457. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002191>.
- Lim, R., Shah, M., & Aref, A.A. (2024). Current perspectives on cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Current Opinion in Ophthalmology*, 35(2), 117–123. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000932>.
- Steyerberg, E.W. (2019). *Clinical prediction models: A practical approach to development, validation, and updating*. 2nd ed. Cham: Springer; 2019. 558 p. doi: 10.1007/978-3-030-16399-0.
- Vickers, A.J., & Elkin, E.B. (2006). Decision curve analysis: A novel method for evaluating prediction models. *Medical Decision Making*, 26(6), 565–574. <https://doi.org/10.1177/0272989X06295361>.
- Collins, G.S., Reitsma, J.B., Altman, D.G., & Moons, K.G. (2015). Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD). *Annals of Internal Medicine*, 162(1), 55–63. <https://doi.org/10.7326/M14-0697>.

Отримано/Received 21.03.2026

Рецензовано/Revised 03.07.2026

Прийнято до друку/Accepted 29.08.2026 ■

Information about authors

Olga V. Guzun, PhD in Medicine, Research Fellow, Department of Studying Biological Action and Application of Lasers in Ophthalmology, Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of NAMSU, Odesa, Ukraine; e-mail: olgaguzun24@gmail.com; phone: +380 (67) 791-41-28; <https://orcid.org/0009-0003-6873-8503>

Natalia V. Konovalova, MD, DSc, PhD, Professor, Department of General, Pediatric and Military Surgery with a Course of Urology and Ophthalmology, Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine; e-mail: kvnkonvalova@gmail.com; phone: +380 (67) 663-57-79; <https://orcid.org/0009-0001-8164-4654>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. This article is part of comprehensive research conducted by the Department of Biological Effects and Laser Application at the State Institution "Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of NAMSU" within the framework of the projects: "Studying the characteristics of changes in the anterior eye segment structures, its blood circulation, and heat exchange in neovascular glaucoma and trauma" (state registration number 0119U101215, 2019–2021) and "Studying structural and functional changes in the retina and choroid in patients with dystrophic and post-inflammatory diseases of the retina and choroid following laser and anti-angiogenic therapy" (state registration number 0122U001490, 2022–2024).

Author's contribution. O.V. Guzun — article concept and design, data collection, processing and analysis, manuscript writing; N.V. Konovalova — data analysis, article concept and design, manuscript editing.

O.V. Guzun¹, N.V. Konovalova²

¹ Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of NAMSU, Odesa, Ukraine

² Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

Cumulative Burden Index as an integrative marker of treatment resistance in neovascular glaucoma after transscleral cyclophotocoagulation: a prospective 36-month study

Abstract. Background. Neovascular glaucoma is characterized by an aggressive clinical course, a high rate of repeated surgical interventions, and considerable variability in long-term treatment outcomes. The cumulative complexity of therapy may reflect the biological resistance of the disease. An integrative assessment of treatment burden may therefore have prognostic value for outcomes after transscleral cyclophotocoagulation. The purpose was to evaluate the prognostic significance of the Cumulative Burden Index (CBI) as an integrative marker of treatment resistance in neovascular glaucoma after transscleral cyclophotocoagulation. **Materials and methods.** This prospective cohort study included 224 patients (224 eyes) with neovascular glaucoma treated with transscleral cyclophotocoagulation. The follow-up period was 36 months. CBI was calculated as the sum of the number of cyclophotocoagulation procedures and the severity score of clinical complications related to the disease course. Independent predictors of treatment failure were assessed using multivariable logistic regression. The discriminative performance of CBI was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) analysis. **Results.** At 36 months,

treatment success was achieved in 155 patients (69.2 %), whereas 69 participants (30.8 %) were classified as having treatment failure. The mean CBI was 3.9 in the success group and 6.6 in the failure group ($p < 0.001$). In the multivariable logistic regression model, CBI was an independent predictor of treatment failure (odds ratio = 1.58; 95% confidence interval (CI) 1.32–1.90; $p < 0.001$). ROC analysis demonstrated good predictive performance of the index (area under the ROC curve = 0.84; 95% CI 0.79–0.89). The optimal cut-off value of $CBI \geq 5$ yielded a sensitivity of 78 % and a specificity of 81 %. **Conclusions.** CBI is an integral indicator that reflects the cumulative complexity of treatment in neovascular glaucoma. Higher CBI values are associated with an increased risk of a treatment-resistant course after transscleral cyclophotocoagulation and may serve as a useful tool for clinical risk stratification of these patients.

Keywords: neovascular glaucoma; diabetic retinopathy; retinal vein occlusion; transscleral cyclophotocoagulation; treatment burden; Cumulative Burden Index; predictive models; ROC analysis; intraocular pressure

R. Terletskyi¹, T. Pavlychuk¹, K. Dowgiera², Yu. Chepurnyi¹, A. Kopchak¹, T. Wach³

¹ Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

² Head and Neck Surgery Clinic for Children and Youth, Department of Clinical Pediatrics,
University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, Poland

³ Medical University of Łódź, Łódź, Poland

Marcin Kozakiewicz (1969–2026) — surgeon, scientist, teacher and friend of Ukraine: outstanding achievements, support for Ukraine and personal memories

Abstract. Professor Marcin Kozakiewicz was one of the leading Polish oral and maxillofacial surgeons, whose scientific achievements, surgical innovations, and dedication to education significantly influenced the development of contemporary cranio-maxillofacial surgery. As Head of the Department of Maxillofacial Surgery in Łódź, he made substantial contributions to facial trauma, reconstructive and orthognathic surgery, orbital reconstruction, computer-assisted surgical planning, and biomedical research. Beyond his scientific accomplishments, Professor Kozakiewicz was a respected mentor who trained numerous young surgeons and established long-standing international collaborations. Following the outbreak of the full-scale war in Ukraine, Professor Kozakiewicz actively supported Ukrainian patients and healthcare professionals. He welcomed Ukrainian surgeons for clinical observerships and scientific exchanges, participated in educational initiatives, and strengthened cooperation between Polish and Ukrainian maxillofacial surgery centers. His final visit to Ukraine, during the ORBIT UKRAINE 2026 scientific meeting, reflected his unwavering commitment to professional collaboration despite the challenges of wartime. This memorial article honors the life and legacy of Professor Marcin Kozakiewicz through a review of his scientific achievements, clinical innovations, educational contributions, support for Ukraine, and personal memories shared by colleagues and friends. His dedication to patients, science, and international cooperation will remain an enduring inspiration for future generations of maxillofacial surgeons.

Keywords: Marcin Kozakiewicz; oral and maxillofacial surgery; reconstructive surgery; orbital surgery; education; international collaboration; Ukraine; obituary; in memoriam

Introduction

The international oral and maxillofacial surgery community has lost an outstanding surgeon, scientist, educator, and academic leader with the passing of **Professor Marcin Kozakiewicz**. Throughout his distinguished career, he made substantial contributions to the advancement of oral and maxillofacial surgery through clinical excellence, scientific innovation, and unwavering dedication to education. His work influenced generations of surgeons and strengthened international collaboration across Europe and beyond.

Professor Kozakiewicz was widely recognized for his expertise in maxillofacial traumatology, reconstructive surgery, orthognathic surgery, orbital reconstruction, and the

application of modern technologies in surgical planning and treatment. His scientific publications, educational activities, and commitment to evidence-based practice earned him the respect of colleagues worldwide and established him as one of the leading figures in contemporary European oral and maxillofacial surgery. Equally important was his commitment to international academic cooperation. Throughout his career, Professor Kozakiewicz actively promoted the exchange of knowledge between institutions, supported young surgeons and researchers, and participated in numerous collaborative scientific and educational initiatives. His openness to cooperation created lasting professional relationships that extended well beyond national borders.

Professor Kozakiewicz also maintained particularly close ties with the Ukrainian oral and maxillofacial surgery community. For many years, he collaborated with Ukrainian colleagues through joint scientific publications, educational initiatives, and professional exchange. During the full-scale war in Ukraine, he continued to support Ukrainian surgeons, demonstrating that scientific cooperation and humanitarian values remain essential even in the most difficult times.

This memorial article is dedicated to the life, professional achievements, and legacy of Professor Marcin Kozakiewicz. In addition to highlighting his scientific and clinical contributions, it presents personal reflections from colleagues, collaborators, and friends whose professional and personal lives were enriched by knowing and working with him.

Professor Kozakiewicz was one of the pioneers of modern maxillofacial surgery in Łódź and one of the surgeons who shaped its development during his generation. Throughout his career, he consistently sought to introduce new technologies and original solutions into everyday clinical practice. He was a pioneer in patient-specific orbital reconstruction, developing and clinically implementing individually designed CAD/CAM implants made of ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE), an approach that combined medical imaging, engineering, and maxillofacial surgery long before personalized implants became widely adopted. His innovative work extended far beyond orbital reconstruction. Professor Kozakiewicz was the inventor and co-inventor of numerous solutions in maxillofacial surgery, including orbital implants and materials, as well as dedicated plates and instruments for the surgical treatment of mandibular condylar fractures. Several of these concepts were protected by Polish and European patents, reflecting his exceptional ability to translate clinical problems into practical surgical innovations. At the same time, he built an extensive academic career as a researcher, teacher, and Head of the Department of Maxillofacial Surgery at the Medical University of Łódź. His scientific work encompassed traumatology, orbital reconstruction, implantology, bone-substitute materials, digital imaging, and computer-assisted and patient-specific surgery.

He authored and co-authored a large body of scientific publications and contributed to the education of successive generations of surgeons, leaving a lasting influence on both the scientific and clinical development of maxillofacial surgery in Łódź and beyond. Perhaps what distinguished Professor Kozakiewicz most was that he was never satisfied merely with following established surgical methods — he constantly searched for ways to improve them, create new ones, and pass them on to others.

The surgeon and scientist

Professor Marcin Kozakiewicz was an internationally respected oral and maxillofacial surgeon whose work significantly advanced facial traumatology, reconstructive and orthognathic surgery, orbital reconstruction, and computer-assisted surgical planning. Throughout his career, he combined outstanding clinical expertise with a strong commitment to scientific research, authoring numerous peer-reviewed publications, book chapters, and educational materials. His innovative approach to surgery, dedication to evidence-based medicine, and pursuit of continuous improvement estab-



Figure 1. A famous Polish maxillo-facial surgeon Marcin Kozakiewicz (1969–2026)

lished him as one of the leading figures in contemporary European oral and maxillofacial surgery.

Beyond his extensive scientific achievements, Professor Kozakiewicz was deeply passionate about surgical innovation. He had a particular interest in osteosynthesis, especially in the management of mandibular condylar fractures, the development and optimization of fixation systems, and the application of modern biomaterials and implant technologies. He actively collaborated with engineers and industry partners, believing that continuous refinement of surgical techniques and medical devices was essential for improving patient outcomes. His curiosity, creativity, and willingness to challenge conventional approaches inspired colleagues and trainees alike, leaving a lasting impact on both clinical practice and research.

Professor Kozakiewicz was a physician who never deprived a patient of hope and never left anyone without help. Every person who came to him seeking treatment could count on his full attention, commitment, and care. He never turned away from difficult cases, even when patients were referred to him after others had exhausted their options. Most importantly, he never took away the hope with which they came to him. He always found time to speak with his patients, to explain, to listen, and to support not only them but also their families.

Teacher and mentor

Professor Marcin Kozakiewicz considered education as an integral part of his professional mission. Throughout his career, he trained numerous residents, doctoral students, and young specialists, encouraging independent thinking, scientific curiosity, and the continuous pursuit of excellence. His mentorship extended beyond formal teaching, as he generously shared his clinical experience, surgical techniques, and research expertise with colleagues from many countries.

He believed that knowledge should be exchanged without borders. By welcoming visiting surgeons, promoting academic exchange, and fostering collaborative research, he con-

tributed to the professional development of a new generation of oral and maxillofacial surgeons who continue to benefit from his guidance and example.

Professor Kozakiewicz was always open to those who wished to begin their professional journey in surgery or academic research. He supported young students and doctors with genuine enthusiasm, generosity, and patience. He never discouraged anyone or made them feel that further development was beyond their reach. On the contrary, he believed that the opportunity to grow should be available to everyone who was willing to learn, work, and improve (Fig. 1).

Poland and Ukraine: a partnership beyond borders

Professor Marcin Kozakiewicz played an important role in strengthening professional and scientific cooperation between Poland and Ukraine. For many years, he actively collaborated with Ukrainian oral and maxillofacial surgeons through joint scientific publications, educational activities, and clinical training programs. Following the outbreak of the full-scale war in Ukraine, his support became even more meaningful. Despite the difficult circumstances, he continued to welcome Ukrainian surgeons to his department, participated in scientific meetings held in Ukraine, and remained committed to preserving academic collaboration. Since the first days of Russian invasion he organized the humanitarian aid and provided the necessary hardware for osteosynthesis to Ukrainian hospitals. His visits to Ukrainian conferences and his unwavering support reflected not only his professional dedication but also his belief that medicine should unite people regardless of borders or adversity. The deep knowledge of the Ukrainian history and cultural background as well as the deep empathy of Prof. Kozakiewicz provided a unique ability to form friendly relationships between Polish and Ukrainian professionals.

A legacy beyond surgery

The legacy of Professor Marcin Kozakiewicz extends far beyond his scientific publications and surgical achievements. It is reflected in the surgeons he trained, the international collaborations he established, and the friendships he cultivated throughout his career. His influence continues through the countless patients whose lives were improved by his work and through the colleagues who carry forward the knowledge and values he shared. Professor Kozakiewicz demonstrated that excellence in surgery is inseparable from integrity, kindness, and respect for others. His professional achievements, humanitarian values, and dedication to education will remain a lasting source of inspiration for future generations of oral and maxillofacial surgeons.

Personal reflections

For those who had the privilege of knowing Professor Marcin Kozakiewicz, his greatest legacy extended beyond his scientific achievements and surgical expertise. He was remembered as a warm, approachable, and generous colleague who treated students, residents, and international visitors with genuine respect. His enthusiasm for teaching, openness to new ideas, and ability to create a welcoming atmosphere made every professional encounter an opportunity for

learning and friendship. He believed that collaboration was built not only in lecture halls and operating rooms but also through personal relationships. Whether discussing complex clinical cases, sharing research ideas, or simply spending time together outside the hospital, he inspired trust, mutual respect, and lasting friendships. Those who worked alongside him will remember not only his remarkable knowledge but also his kindness, humor, and humanity.

Krzysztof Dowgierd:

— For me, Professor Marcin Kozakiewicz was not only an eminent surgeon and scientist, but above all my academic mentor. He supervised my doctoral dissertation, defended in 2016 and devoted to bone-anchored maxillary distraction osteogenesis. Our relationship, however, did not end with the completion of my doctorate. Over many years, we continued to work together on clinical and scientific problems that were important to both of us: maxillary distraction, craniofacial surgery in children and adolescents, temporomandibular joint ankylosis and reconstruction, microsurgical reconstruction, and the growing role of three-dimensional planning and patient-specific solutions in maxillofacial surgery.

Professor Kozakiewicz had the rare ability to combine scientific rigor with genuine surgical imagination. He did not impose ready-made answers. Instead, he asked questions that encouraged independent thinking, challenged accepted assumptions, and directed attention towards solutions that could truly improve patient care. He was demanding without diminishing others, generous with his knowledge, and always open to a new idea. This combination shaped both my scientific development and my own understanding of mentorship.

I will remember him not only through our publications and projects, but also through our conversations, shared clinical challenges, and the trust he placed in me. A true teacher remains present in the decisions made by those whom he taught. In this sense, Professor Kozakiewicz's influence will continue in my work, in the people I train, and, above all, in the treatment of our patients.

Tomasz Wach:

— I had the privilege of knowing Professor Kozakiewicz for more than 14 years, and my only regret is that this time was far too short. He was an outstanding physician, an exceptional person, and a deeply respected Head of our Department, yet he never placed himself above others and never allowed anyone in his presence to feel inferior. Through his humility, kindness, generosity, and genuine passion for teaching, he had a rare gift for bringing out the best in people and making them feel valued, respected, and capable of becoming better. At any hour of the day or night, one could always count on his support; he seemed to know the solution to every problem and, no matter how difficult the situation, always found the best way forward. Operating alongside him was an extraordinary privilege and brought an indescribable sense of reassurance, because there was never a moment when I doubted that he would know what to do. He was not only my mentor and teacher, but also someone who profoundly shaped my professional path and the person I have become. Thanks to him, I can be a better doctor and a better human being today. Professor, thank you for everything — I only wish those 14 years could have been many more. We will miss you greatly... until we meet again.



Figure 2. Left to right: Prof. M. Kozakiewicz (Poland), Prof. Y. Chepurnyi (Ukraine), Prof. A. Kopchak (Ukraine), Prof. A. Neff (Germany) — at the ORBIT UKRAINE 2026

Yurii Chepurnyi:

— I remember Professor Marcin Kozakiewicz as a remarkable person — a man whose breadth of vision as a surgeon, depth of thought as a scientist, and warmth as a human being were truly exceptional. He possessed the mind of an innovator and a dreamer — a mind that knew no national borders and was never confined by the boundaries of a single specialty. He valued innovation at the very forefront of scientific progress, scientific collaboration built upon strong bonds of friendship, and evidence-based medicine as a guiding principle for moving forward. He was a true friend of Ukraine and of the Ukrainian people. From the very beginning of Russia's full-scale aggression, he had no hesitation in distinguishing right from wrong. He understood, clearly and without compromise, the injustice of the war against our freedom and our right to determine our own future. He also believed deeply in the importance of a strong and lasting friendship between Ukraine and Poland (Fig. 2).

Tetiana Pavlychuk:

— I had the privilege to study in Professor Kozakiewicz during my fellowship in Łódź. He believed in people, in goodwill and in our specialty. The loss of such person as Marcin can never be filled. He always knew how to support, inspire and make you believe in yourself. Professor Kozakiewicz loved new technologies, engineering and never stopped developing during all his life. I hope we can continue all his begins and joint projects and confirm his trust in us. Eight years ago we united our efforts at the area of maxillofacial traumatology, since then I have heard only good things about our team and received ultimate support. I will remember the name and achievements of this outstanding person with dignity, deep respect and friendship (Fig. 3, 4).

Kind, sincere, intellectual and warm-hearted — Professor Marcin Kozakiewicz.

This is how he remains in my memory. Sadly, he has passed on, but he has not passed away from us. From time to time, I return to our conversations, to his work, his advice and his comments. I remember, I reflect, I am sad...

And perhaps this is why he continues to be among us.

Lasting legacy

Professor Marcin Kozakiewicz devoted his life to advancing oral and maxillofacial surgery through patient care, scientific



Figure 3. Young oral and maxillofacial surgeons during a clinical internship under the supervision of Prof. Marcin Kozakiewicz (Łódź, Poland, 2023)



Figure 4. Young surgeons in the operating room

discovery, education, and international cooperation. His contributions have become part of the foundation upon which future generations of surgeons will continue to build.

His scientific publications, innovative surgical concepts, educational activities, and commitment to mentoring young clinicians will continue to influence clinical practice for many years. Equally enduring is the international network of colleagues and friends he helped create, united by shared professional values and mutual respect.



Figure 5. Exchange of gifts and a cordial conversation between Prof. Andrii Kopchak and Prof. Marcin Kozakiewicz

Although his life ended far too soon, his influence remains present in every student he inspired, every colleague he supported, every scientific collaboration he initiated, and every patient whose life was improved through his work (Fig. 5).

Conclusions

Professor Marcin Kozakiewicz was far more than an outstanding oral and maxillofacial surgeon. He was a visionary scientist, an inspiring teacher, a trusted colleague, and a sincere friend. His career demonstrated that true professional excellence is achieved not only through technical mastery and scientific accomplishment, but also through generosity, integrity, compassion, and the willingness to support others.

His contributions to oral and maxillofacial surgery, his dedication to education, and his commitment to international cooperation — particularly his enduring support for Ukrainian colleagues during one of the most challenging periods in the country's history — will remain an enduring part of his legacy.

Although Professor Kozakiewicz is no longer with us, his ideas, his values, and the countless lives he touched will continue to inspire future generations of oral and maxillofacial surgeons.

His legacy lives on in the people he taught, the friendships he created, and the science he advanced.

It is also remarkable that Professor Kozakiewicz left behind not only wonderful memories and an outstanding



Figure 6. The ever-smiling Prof. Kozakiewicz surrounded by his friends and young colleagues (left to right): PhD R. Terletskyi, T. Wach, I. Gabryelczak, T. Pavlychuk

scientific legacy from which we can continue to benefit, but also a group of devoted colleagues and successors who will undoubtedly preserve his memory, protect what he created, and strive to continue the work he began.

Received 11.08.2026

Revised 01.09.2026

Accepted 02.09.2026 ■

Information about authors

Rostyslav Terletsy, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Tetiana Pavlychuk, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Krzysztof Dowgierd, Head and Neck Surgery Clinic for Children and Youth, Department of Clinical Pediatrics, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, Poland

Yurii Chepurnyi, Department of Maxillofacial Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Andrii Kopchak, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Maxillofacial Surgery and Innovative Dentistry, Postgraduate Education Institute, Director of the Institute of Dentistry, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kopchak@ua.fm; <https://orcid.org/0000-0002-3272-4658>

Tomasz Wach, Department of Maxillofacial Surgery, Medical University of Łódź, Łódź, Poland

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Терлецький Р.¹, Павличук Т.¹, Dowgierd K.², Чепурний Ю.¹, Копчак А.¹, Wach T.³

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

² Head and Neck Surgery Clinic for Children and Youth, Department of Clinical Pediatrics, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, Poland

³ Medical University of Łódź, Łódź, Poland

Марцін Козакевич (1969–2026) — хірург, науковець, вчитель і друг України: видатні досягнення, підтримка України та особисті спогади

Резюме. Професор Марцін Козакевич був одним із провідних польських щелепно-лицевих хірургів, чий науковий здобуток, хірургічні інновації та відданість освіті суттєво вплинули на розвиток сучасної краніо-щелепно-лицевої хірургії. Як керівник клініки щелепно-лицевої хірургії в Лодзі, він зробив вагомий внесок у лікування лицевих травм, реконструктивну й ортогнатичну хірургію, реконструкцію орбіти, комп'ютерне планування хірургічних втручань та біомедичні дослідження. Окрім наукових досягнень, професор Козакевич був шанованим наставником, який виховав чимало молодих хірургів і започаткував тривалу міжнародну співпрацю. Після початку повномасштабної війни в Україні професор Козакевич активно підтримував українських пацієнтів та лікарів. Він приймав українських хірургів для клінічних стажувань і академічних об-

мінів, брав участь в освітніх ініціативах та зміцнював співпрацю між польськими й українськими центрами щелепно-лицевої хірургії. Його останній візит до України, під час наукової конференції ORBIT UKRAINE 2026, став відображенням незмінної відданості професійній співпраці попри виклики воєнного часу. Ця меморіальна стаття вшановує життя і спадщину професора Марціна Козакевича через огляд його наукових досягнень, клінічних інновацій, освітнього внеску, підтримки України та особистих спогадів колег і друзів. Його відданість пацієнтам, науці та міжнародній співпраці залишиться незгасним джерелом натхнення для майбутніх поколінь щелепно-лицевих хірургів.

Ключові слова: Марцін Козакевич; щелепно-лицева хірургія; реконструктивна хірургія; хірургія орбіти; освіта; міжнародна співпраця; Україна; некролог