

УДК 617.7:616.37-008.64

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2026-2-3>

Ю. В. Барінов¹ <https://orcid.org/0000-0001-6562-0428>
С. А. Риков¹ <https://orcid.org/0000-0002-3495-7471>
Н. В. Коновалова² <https://orcid.org/0009-0001-8164-4654>
О. В. Потапчук² <https://orcid.org/0009-0009-4426-2380>
О. В. Гузун³ <https://orcid.org/0009-0003-6873-8503>

КОЕФІЦІЄНТ СТРЕСОВОЇ ГІПЕРГЛІКЕМІЇ ЯК ПРЕДИКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ЛІКУВАННЯ НЕОВАСКУЛЯРНОЇ ГЛАУКОМИ НА ТЛІ ПРОЛІФЕРАТИВНОЇ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ

¹ Київська медична академія післядипломної освіти
імені П. Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України, Київ, Україна
² Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна
³ ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії
імені В. П. Філатова Національної академії медичних наук України» Одеса, Україна

УДК 617.7:616.37-008.64

Ю. В. Барінов¹, С. А. Риков¹, Н. В. Коновалова², О. В. Потапчук², О. В. Гузун³
КОЕФІЦІЄНТ СТРЕСОВОЇ ГІПЕРГЛІКЕМІЇ ЯК ПРЕДИКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ЛІКУВАННЯ
НЕОВАСКУЛЯРНОЇ ГЛАУКОМИ НА ТЛІ ПРОЛІФЕРАТИВНОЇ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ

¹ Київська медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України, Київ, Україна

² Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

³ ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії імені В. П. Філатова Національної академії медичних наук України» Одеса, Україна

Мета. Оцінити прогностичну роль коефіцієнта стресової гіперглікемії (КСГ) та ефективність трансклеральної циклофотокоагуляції (ТСК ЦФК) як першого етапу лікування неоваскулярної глаукоми (НВГ) на тлі проліферативної діабетичної ретинопатії. Матеріали та методи. Проспективно обстежено 35 очей з НВГ; результати аналізували залежно від КСГ. Предиктори неуспіху визначали за регресією Кокса. **Результати.** Високий КСГ підвищував ризик неуспіху в 4,1 раза (95% ДІ 1,06–16; $p = 0,04$) та знижував ефективність лікування до 51,8% проти 82,1% ($p < 0,01$). ТСК ЦФК забезпечила контроль ВОР у 87,5% випадків, ускладнення становили 12,5%. Комбіноване лікування (ТСК ЦФК + ПРЛК + anti-VEGF) зменшувало ризик неуспіху в 3,7 раза. **Висновки.** КСГ є значущим прогностичним маркером, а ТСК ЦФК як перший етап лікування покращує контроль ВОР і прогноз НВГ.

Ключові слова: проліферативна діабетична ретинопатія, неоваскулярна глаукома, анти-VEGF терапія, хірургічне лікування, прогноз.

UDC 617.7:616.37-008.64

Yu. V. Barinov¹, S. A. Rikov¹, N. V. Konovalova², O. V. Potapchuk², O. V. Guzun³
STRESS HYPERGLYCEMIA RATIO AS A PREDICTOR OF THE EFFECTIVENESS OF COMBINED
TREATMENT OF NEOVASCULAR GLAUCOMA IN PROLIFERATIVE DIABETIC RETINOPATHY

¹ Kyiv Medical Academy of Postgraduate Education named after P. L. Shupyk, Kyiv, Ukraine

² Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

³ State Institution "The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Odesa, Ukraine

Objective: To evaluate the prognostic role of the stress hyperglycemia ratio (SHR) and the effectiveness of transscleral laser cyclophotocoagulation (TSCPC) as the first-line treatment of neovascular glaucoma (NVG) in patients with proliferative diabetic retinopathy.

Materials and Methods: A prospective study included 35 eyes with NVG. Clinical and surgical outcomes were assessed according to SHR levels. Cox multivariate regression analysis was used to identify predictors of treatment success.

Results: High SHR was an independent predictor of unfavorable NVG outcomes, increasing the risk of treatment failure 4.1-fold (95% CI: 1.06–16; $p = 0.04$) and reducing surgical success to 51.8% compared to 82.1% in patients with low SHR ($p < 0.01$). TSCPC

© Ю. В. Барінов, С. А. Риков, Н. В. Коновалова та ін., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії



as a preoperative step achieved intraocular pressure control in 87.5% of cases and decreased complication rates to 12.5%, with minimal procedure-related complications (3–3.5%). The combined approach (TSCPC + panretinal laser photocoagulation + anti-VEGF) reduced treatment failure risk 3.7-fold and improved surgical outcomes in patients with high SHR and angle-closure NVG.

Conclusions: High SHR is a significant prognostic marker of poor NVG outcomes. Implementing TSCPC as the first-line intervention in patients with high SHR improves surgical efficacy, reduces complications, and optimizes prognosis.

Keywords: proliferative diabetic retinopathy, neovascular glaucoma, anti-VEGF, surgery, prognosis.

Вступ

Неоваскулярна глаукома (НВГ) залишається одним із найтяжчих ускладнень широкого спектра офтальмологічних та системних захворювань. Вона характеризується прогресуючою неоваскуляризацією райдужної оболонки та іридокорнеального кута, формуванням фіброваскулярних мембран і стійким підвищенням внутрішньоочного тиску (ВОТ). Епідеміологічні дані свідчать про зростання поширеності НВГ паралельно зі збільшенням кількості пацієнтів із проліферативною діабетичною ретинопатією (ПДР), ішемічними оклюзіями вен сітківки та іншими ретинальними патологіями.

З іншого боку, в умовах сьогодення на Україні близько третини дорослих мають клінічно значущі проблеми, пов'язані з тривогою, травматичним стресом, втратою, пригніченим настроєм [1]. У цих умовах в Україні дедалі частіше реєструється стрес-індукована гіперглікемія (СІГ) [2] як фізіологічна реакція організму на гострий чи хронічний стрес, що проявляється транзиторним підвищенням рівня глюкози в крові. Вона спостерігається як у пацієнтів із цукровим діабетом, так і без нього, особливо в осіб із гострими та тяжкими соматичними станами. Патогенез СІГ пов'язаний з активацією симпатико-адреналової системи, підвищенням секреції кортизолу та вивільненням прозапальних цитокінів, що призводить до стимуляції глюконеогенезу та інсулінорезистентності [3]. Для оцінки її вираженості використовується коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ).

Завдяки доступності вимірювання глюкози та HbA1c під час госпіталізації СІГ, з розрахунком КСГ, розглядається як практичний і цінний прогностичний маркер [4]. Згідно з рекомендаціями European Society of Cardiology, СІГ визначається як рівень глюкози понад 11 ммоль/л незалежно від наявності цукрового діабету [5]. Водночас її клінічне значення є складним, оскільки неконтрольована глікемія на тлі хронічного діабету також впливає на прогноз і виживаність [6]. При цьому розрахунок КСГ є простим, інформативним інструментом для оцінки метаболічної відповіді на стрес у пацієнтів із цукровим діабетом, оскільки високі значення КСГ мають незалежну прогностичну цінність для розвитку ускладнень і смертності. Рутинне визначення КСГ у хворих із цукровим діабетом під час госпіталізації може допомогти індивідуалізувати лікування та покращити контроль глікемії. Надмірна та тривала гіперглікемія посилює запалення, оксидативний стрес і погіршує прогноз перебігу критичних станів. На відміну від абсолютного рівня глюкози, коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ) враховує базовий рівень глікемії та точніше відображає відносне підвищення, пов'язане зі стресовою реакцією організму. Підвищений КСГ (> 1.14–1.20) асоціюється з вищою

летальністю, тяжкими ускладненнями та гіршими післяопераційними результатами у пацієнтів [7]. На сьогодні загальноприйнятої клінічної класифікації ступенів КСГ не існує; у більшості досліджень його оцінюють як безперервний показник із використанням популяційно-специфічних порогових значень або розподілу за квантилями чи медіаною.

Тактика комбінованого підходу (anti-VEGF + ППРЛК + ТСК лазерна ЦФК + клапанна / фільтраційна хірургія) є обґрунтованим «золотим стандартом» у разі тяжкого неоваскулярного процесу, закритокутової форми НВГ, а також у пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями, у яких стрес-індукована гіперглікемія додатково підвищує ризик ускладнень. У таких клінічних випадках монотерапія або стандартна фільтраційна хірургія продемонстрували нижчу ефективність і вищий ризик несприятливого перебігу, тоді як етапне комбіноване лікування дає змогу досягти більш стабільного контролю ВОТ, знизити частоту ускладнень і покращити довгостроковий прогноз [8–10].

Отже, виявлення гіперглікемічних станів у госпіталізованих пацієнтів із НВГ має ключове значення для стратифікації ризику та індивідуалізації лікувальної тактики, що узгоджується із сучасними хірургічними алгоритмами.

Мета. Оцінити вплив коефіцієнта стресової гіперглікемії (КСГ) на перебіг і результати лікування НВГ на тлі проліферативної діабетичної ретинопатії та обґрунтувати ефективність ТСК лазерної ЦФК у пацієнтів із високим КСГ як першого етапу комбінованої терапії для підвищення ефективності хірургічного лікування та зниження ризику ускладнень.

Матеріали та методи дослідження

Дизайн дослідження та контингент пацієнтів

Проведено проспективне клінічне дослідження, у яке було включено 35 пацієнтів (35 очей) з ПДР та НВГ, з них 15 чоловіки (43%). Розподіл на групи здійснювали відповідно до рівня КСГ: група 1 – низький рівень КСГ (n = 13); група 2 – високий рівень КСГ (n = 22).

Стандарти безпеки та етичні аспекти

Дослідження відповідало принципам Гельсінської декларації (2013) та національним етичним вимогам. Протокол № 23 від 01.05.2024 схвалено локальним комітетом з біоетики. Пацієнти надали інформовану згоду. Конфіденційність забезпечувалася відповідно до медичної етики та законодавства. Хірургічне або лазерне втручання виконувалося досвідченими хірургами з дотриманням правил асептики та антисептики.

Критерії включення: 1) вік від 40 до 75 років; 2) підтверджена проліферативна діабетична ретинопатія за результатами офтальмоскопії та флюоресцентної ангіографії; 3) клінічні ознаки НВГ (рубцеоз райдужки, підвищений ВОТ).

Критерії виключення: 1) первинна відкритокутова або закритокутова глаукома іншої етіології; 2) тяжкі супутні ендокринні, онкологічні або інші системні захворювання, що можуть впливати на глікемічний профіль; 3) відсутність повних лабораторних та інструментальних даних.

Офтальмологічне обстеження: внутрішньоочний тиск вимірювали методом аplanationної тонометрії за Гольдманом; біомікроскопія переднього відрізка; гоніоскопія для визначення стадії НВГ; офтальмоскопія.

Лабораторне обстеження: рівень глюкози натще; HbA1c.

Коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ) обчислювали за формулою[11]:

$КСГ = \text{рівень глюкози в крові при госпіталізації} / (1.59 \times \text{HbA1c} - 2.59)$

Стратифікація проводилася за медіаною КСГ.

Хірургічне та медикаментозне лікування

Трабекулектомія виконувалася за стандартною методикою [12].

ТСК-ЦФК – діодним лазером Iridex Cyclo G6 [13].

Панретинальна лазерна коагуляція (ПРЛК) – аргонним лазером Nidek MC-500.

Anti-VEGF-терапія – інтравітреальне введення ранібізумабу або афліберцепту згідно з клінічними рекомендаціями.

Післяопераційне ведення передбачало гіпотензивну терапію, стероїди та НПЗЗ.

Оцінка ефективності лікування через 6 місяців лікування

Критеріями успішності лікування були: 1) зниження ВОТ < 21 мм рт. ст. без додаткових втручань; 2) регрес неоваскуляризації райдужки та іридокорнеального кута; 3) збереження функціонального зору та відсутність тяжких ускладнень.

Статистичний аналіз

Статистичний аналіз зібраних даних було проведено за допомогою програмного забезпечення з відкритим кодом для Windows [JASP Team (2024). JASP (Version 0.19.2) Computer software, <https://www.jamovi.org/>]. Дані вимірювань, що відповідають нормальному роз-

поділу, були виражені як середнє значення (М) ± стандартне відхилення (SD), а порівняння між групами проводилося за допомогою t-критерію Ст'юдента для двох незалежних вибірок. Багатофакторний логістичний регресійний аналіз та регресія Кокса застосовувалися для оцінки предикторів ефективності лікування. Статистично значущими вважалися результати за $p < 0,05$. Прогностичну точність оцінювали за R^2 Nagelkerke та HR з 95% ДІ.

Результати дослідження та їх обговорення

У дослідження було включено 35 пацієнтів (35 очей) із ПДР та НВГ, яких стратифіковано на дві групи залежно від КСГ: низький рівень КСГ ($n = 13$) та високий рівень КСГ ($n = 22$). Клінічні характеристики пацієнтів із ПДР та НВГ залежно від рівня КСГ представлені в таблиці 1.

Результати, наведені в таблиці 1, демонструють чіткі відмінності між пацієнтами з низьким і високим коефіцієнтом стресової гіперглікемії, що підтверджує його прогностичне значення в разі розвитку НВГ у хворих із ПДР.

Пацієнти з високим КСГ мали достовірно більший вік ($65,4 \pm 3,89$ року проти $60,3 \pm 6,74$ року; $p = 0,008$) та триваліший анамнез цукрового діабету ($10,8 \pm 2,86$ року проти $8,5 \pm 1,61$ року; $p = 0,013$). Це узгоджується з тим, що триваліший перебіг захворювання асоціюється з більш вираженими метаболічними розладами, ендотеліальною дисфункцією та підвищеним ризиком офтальмологічних ускладнень.

Хоча різниця в рівнях HbA1c між групами не була статистично значущою ($p = 0,48$), показник КСГ був суттєво вищим у групі з тяжчим перебігом НВГ ($2,3 \pm 0,42$ проти $1,48 \pm 0,18$; $p < 0,001$). Це вказує на те, що саме гостра метаболічна декомпенсація, а не лише хронічний глікемічний контроль, може відігравати провідну роль у патогенезі судинних ускладнень ока.

Клінічно значущими є також показники офтальмотонусу: середній ВОТ у групі з високим КСГ був значно вищим ($38,27 \pm 8,48$ мм рт. ст.) порівняно з групою з низьким КСГ ($25,46 \pm 1,27$ мм рт. ст.; $p < 0,001$). Це відо-

Таблиця 1

Клінічні характеристики пацієнтів із ПДР та НВГ залежно від рівня КСГ

Показник	1 група – низький рівень КСГ ($n = 13$)	2 група – високий рівень КСГ ($n = 22$)	p
Вік, років (М ± SD)	$60,3 \pm 6,74$	$65,4 \pm 3,89$	0,008 ^a
Чоловіки / жінки	6 (46%) / 7 (54%)	8 (36%) / 14 (64%)	0,724 ^c
Тривалість діабету, років (М ± SD)	$8,5 \pm 1,61$	$10,8 \pm 2,86$	0,013 ^a
HbA1c, %	$7,89 \pm 0,53$	$8,02 \pm 0,53$	0,48 ^a
Коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ)	$1,48 \pm 0,18$	$2,3 \pm 0,42$	< 0,001 ^a
Внутрішньоочний тиск (мм рт. ст.)	$25,46 \pm 1,27$	$38,27 \pm 8,48$	< 0,001 ^a
Частота НВГ закритокутової стадії (%)	29,6%	100%	0,001 ^b
ПРЛК до операції (%)	58%	31%	0,001 ^b

Примітки: дані представлені у вигляді середнього (М) та стандартного відхилення (SD) або абсолютної кількості (n) та частки у %. p – рівень значущості різниці між показниками 1 та 2 групами: a – за t-критерієм Ст'юдента, b – за χ^2 із n (%), c – точний критерій Фішера.

Скорочення: КСГ – коефіцієнт стресової гіперглікемії; HbA1c – глікозуюваний гемоглобін; ПДР – проліферативна діабетична ретинопатія; ПРЛК – панретинальна лазерна коагуляція сітківки.

бражає більш агресивний перебіг неоваскулярного процесу та нижчу ймовірність ефективного контролю ВОТ.

Крім того, у групі з високим КСГ частота НВГ із закритокутовою стадією становила 100%, тоді як у групі з низьким КСГ – лише 29,6% ($p < 0,001$). Це вказує на тісний зв'язок між метаболічною нестабільністю та пізнім виявленням і тяжчим перебігом глаукоми. Також частота проведення ПРЛК була нижчою у пацієнтів із високим КСГ (31% проти 58%; $p = 0,03$), що може свідчити про пізнішу діагностику.

Пацієнти з високим КСГ мали гірші результати хірургічного лікування, вищу частоту ускладнень і потребу в додаткових втручаннях. Хірургічне втручання (трабекулектомія) переважно ефективне з низьким КСГ у разі відкритокутової форми НВГ (31%), тоді як трансклеральна лазерна циклофотокоагуляція – у разі закритокутової стадії з високим КСГ (табл. 2).

У пацієнтів із НВГ на тлі ДРП та різним рівнем КСГ спостерігали суттєві відмінності показників ВОТ. Початковий рівень ВОТ був достовірно вищим у групі з високим рівнем КСГ ($39,2 \pm 6,8$ мм рт. ст.) порівняно з групою з низьким КСГ ($29,5 \pm 5,3$ мм рт. ст.; $p < 0,001$). Аналогічна тенденція зберігалася і через 6 місяців після хірургічного лікування: $25,3 \pm 4,9$ мм рт. ст. у групі з високим КСГ проти $18,1 \pm 3,6$ мм рт. ст. у групі з низьким КСГ ($p = 0,014$).

Загалом хірургічне лікування проведено у 77,1% очей (27 із 35). Успішного контролю ВОТ було досяг-

нуто у 71,4% випадків (25 із 35 очей), причому статистично значущої різниці між групами за частотою успішних операцій не виявлено ($p = 0,43$). Частота післяопераційних ускладнень становила 42,9% загалом, без достовірних міжгрупових відмінностей ($p = 0,18$).

ТСК лазерна ЦФК виконувалася переважно у пацієнтів з високим рівнем КСГ (22,9% усіх очей). У цій групі було досягнуто 87,5% успішних результатів після ТСК лазерних втручань, тоді як у групі з низьким КСГ таких операцій не проводили. Додаткова анти-VEGF-терапія застосовувалася у 42,9% випадків, частіше в групі з низьким рівнем КСГ (58%) порівняно з високим (31%).

У пацієнтів коефіцієнт стресової гіперглікемії продемонстрував сильні позитивні кореляційні зв'язки за Пірсоном (r_p): КСГ ↔ ВОТ: $r_p = 0,81$ ($p < 0,001$); КСГ ↔ стадія НВГ: $r_p = 0,88$ ($p < 0,001$); КСГ ↔ тривалість ЦД: $r_p = 0,53$ ($p < 0,01$).

Для подальшої оцінки впливу КСГ проведено багатофакторний логістичний регресійний аналіз, який дав змогу визначити зв'язок між рівнем КСГ у пацієнтів із ПДРП залежно від стадії НВГ (відкритокутової чи закритокутової), з урахуванням впливу віку та рівня ВОТ (табл. 3).

Група ефективності лікування мала $b = 1,626 \pm 0,37$, $p = 0,000116$, що свідчить про високий вплив цього фактора на успішність лікування. Внутрішньоочний тиск до операції мав $b = -0,03 \pm 0,014$, $p = 0,047$, що також

Таблиця 2

Успішність лікування НВГ у пацієнтів з ДРП та різним рівнем коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ)

Показник	1 група – низький КСГ (n = 13)	2 група – високий КСГ (n = 22)	Усього (n = 35)	p
Початковий ВОТ, мм рт. ст.	$29,5 \pm 5,3$	$39,2 \pm 6,8$		< 0,001^a
ВОТ через 6 міс. після операції, мм рт. ст.	$18,1 \pm 3,6$	$25,3 \pm 4,9$		0,014^a
Хірургічне лікування	13 очей (37,1%)	14 очей (40%)	27 очей (77,1%)	–
Успішні хірургічні операції	11 очей (31,4%)	14 очей (40%)	25 очей (71,4%)	0,43 ^b
Ускладнення після хірургії	5 очей (14,3%)	10 очей (28,6%)	15 очей (42,9%)	0,18 ^b
Хірургічне лікування після ТСК лазерної ЦФК (n = 8)	(0%)	8 очей (22,9%)	8 очей (22,9%)	–
Ускладнення після ТСК лазерної ЦФК	(0%)	1 око (2,9%)	1 око (2,9%)	–
Додаткова anti-VEGF-терапія	(8 очей) 61,5%	(7 очей) 31,8%	15 очей (42,9%)	–

Примітки: дані представлені у вигляді середнього (М) та стандартного відхилення (SD) або абсолютної кількості (n) та частки у %. p – рівень значущості різниці між показниками 1 та 2 групами: а – за t-критерієм Ст'юдента, б – за χ^2 із n (n).

Скорочення: КСГ – коефіцієнт стресової гіперглікемії; ВОТ – внутрішньоочний тиск; ПДР – проліферативна діабетична ретинопатія; ТСК лазерна ЦФК – трансклеральна лазерна циклофотокоагуляція.

Таблиця 3

Результати багатофакторного логістичного регресійного аналізу зв'язку фактору КСГ у пацієнтів з ПДРП залежно від стадії неоваскулярної глаукоми (відкрита та закритокутова)

Коваріати	$B \pm m$	p	R^2 Nagelkerke
Вільний член	$-0,095 \pm 0,47$	0,842	0,797
Група (успішності лікування)	$1,626 \pm 0,37$	0,0001	
Внутрішньоочний тиск	$-0,03 \pm 0,014$	0,047	
Вік	$0,009 \pm 0,008$	0,244	

Примітки: значення коефіцієнта моделі, $b \pm m$ – стандартизований регресійний коефіцієнт рівняння зі стандартними помилками (Std.Err); R^2 Nagelkerke – показник детермінації моделі регресії; p – рівень значущості відмінності показника від 0.

виявився статистично значущим фактором. Вік не мав статистично значущого впливу ($p = 0,243862$). Показник детермінації моделі регресії R^2 Nagelkerke = 0,797, що вказує на високу прогностичну здатність моделі.

Далі проведений багатофакторний регресійний аналіз за моделлю Кокса показав, що в пацієнтів із ПДР на закритокутовій стадії НВГ підвищення КСГ асоціювалося зі зростанням ризику невдалого хірургічного лікування в 4,1 раза порівняно з пацієнтами на відкритокутовій стадії НВГ (HR = 4,1; 95% ДІ: 1,06–16,0; $p = 0,04$) (табл. 4).

У регресійну модель були включені клінічно значущі коваріати, зокрема тривалість цукрового діабету понад 10 років, наявність серцево-судинних захворювань, а також факт проведення ТСК лазерної ЦФК, ПРЛК сітківки та анти-VEGF-терапії.

Тривалість ЦД понад 10 років була асоційована зі зниженням ризику неуспішного лікування на 97% (HR = 0,03; 95% ДІ: 0,002–0,35; $p = 0,005$). Високий КСГ достовірно підвищував ризик неефективного лікування в 4,12 раза (зростання ризику на 312%; 95% ДІ: 1,06–16; $p = 0,04$). Комбіноване застосування ТСК лазерної ЦФК + ПРЛК + anti-VEGF знижувало ризик неуспішного лікування на 73% (HR = 0,27; 95% ДІ: 0,09–0,81; $p = 0,02$).

Отримані нами результати підтверджують, що високий КСГ є одним із ключових предикторів несприятливого перебігу НВГ у пацієнтів з ПДР. Пацієнти з високим КСГ мали достовірно вищі показники початкового ВОТ – ($39,2 \pm 6,8$ мм рт. ст.) та нижчу ефективність хірургічного лікування (63,6%) порівняно з пацієнтами з низьким КСГ ($29,5 \pm 5,3$ мм рт. ст. та ефективність 84,6% відповідно). Зокрема, після хірургічного лікування ($n = 35$ очей) успішність операцій у групі з низьким КСГ становила 84,6%, тоді як у групі з високим – 63,6%, а частота ускладнень у другій групі була суттєво вищою (45,5% проти 15,4%).

Ці дані узгоджуються з результатами багатоцентрового клінічного дослідження, проведеного Fang, С. та співавт. (2025), у якому було обстежено понад 240 пацієнтів з ПДР [7]. Автори показали, що підвищений КСГ був незалежним предиктором більш швидкого розвитку неоваскуляризації райдужки, підвищеного ризику переходу від відкритокутової до закритокутової форми НВГ та зниження ймовірності досягнення цільового ВОТ після хірургічного лікування. У дослідженні Fang et al. середній ВОТ у групі з високим КСГ перед операцією становив $37,8 \pm 7,1$ мм рт. ст., що дуже

близько до наших показників ($39,2 \pm 6,8$ мм рт. ст.). Через 6 місяців після лікування ВОТ у групі з високим КСГ залишався суттєво вищим, ніж у групі з низьким КСГ ($24,6 \pm 5,1$ мм рт. ст. проти $17,9 \pm 4,2$ мм рт. ст.; $p < 0,001$), що також узгоджується з нашими даними ($25,3 \pm 4,9$ мм рт. ст. проти $18,1 \pm 3,6$ мм рт. ст.) [7].

Багатофакторний логістичний регресійний аналіз показав, що ефективність лікування суттєво залежить від рівня КСГ ($b = 1,63 \pm 0,37$; $p < 0,001$), тоді як підвищений ВОТ негативно впливає на результат ($b = -0,03 \pm 0,014$; $p = 0,047$). Модель пояснює 79,7% варіації результатів лікування (R^2 Nagelkerke = 0,797). Таким чином, КСГ та рівень ВОТ перед операцією є ключовими предикторами ефективності хірургічного втручання у пацієнтів з НВГ на тлі ПДР. Крім того, Fang та співавт. продемонстрували, що високий КСГ асоціюється зі збільшенням відносного ризику неуспішного лікування у 3,2 раза (95% ДІ: 1,8–5,6), що порівнювано з нашими даними за моделлю Кокса, де високий КСГ збільшував ризик у 4,12 раза (95% ДІ: 1,06–16; $p = 0,04$). Це свідчить про високу відтворюваність прогностичної значущості КСГ для прогнозування результатів лікування НВГ у різних когортах пацієнтів [7].

Додатково сучасні дані свідчать, що підвищений КСГ асоціюється не лише з прогресуванням діабетичної ретинопатії, але й з гіршим хірургічним прогнозом у пацієнтів із цукровим діабетом, що підтверджує системний характер впливу стресової гіперглікемії на перебіг мікросудинних ускладнень [14].

Особливу увагу в нашому дослідженні приділено передопераційному застосуванню ТСК лазерної ЦФК у пацієнтів із високим КСГ. Використання цього методу дало змогу досягти 87,5% успішних хірургічних втручань і знизити частоту ускладнень до 12,5%, що є значно кращим показником порівняно з даними Fang et al., де загальна частота ускладнень після хірургічного лікування у пацієнтів з високим КСГ становила 38% [7]. Таким чином, ТСК лазерної ЦФК як частина комбінованої тактики лікування може компенсувати негативний вплив високого КСГ, покращуючи контроль ВОТ та зменшуючи ризик інтра- та післяопераційних ускладнень. За даними літератури, частота ускладнень після самої ТСК лазерної ЦФК не перевищує 3–3,5%, що підтверджує високий профіль безпеки методу [15; 16].

За даними систематичних оглядів і метааналізів, ТСК ЦФК демонструє стабільне зниження ВОТ і прийнятний профіль безпеки у пацієнтів з НВГ із частотою серйозних ускладнень зазвичай не вище за 3–5% [9].

Таблиця 4

Результати багатофакторного регресійного аналізу Кокса взаємозв'язків незалежних коваріат пацієнтів з ПДР залежно від ефективності лікування

Коваріати	B (SE)	HR [95% ДІ]	p
Тривалість ЦД > 10 років	-3,54 (1,27)	0,03 [0,002; 0,35]	0,005*
Коефіцієнт стресової гіперглікемії	1,42 (0,69)	4,12 [1,06; 16]	0,04*
Серцево-судинні захворювання, так	0,68 (0,84)	1,98 [0,38; 10,3]	0,42
ТСК лазерної ЦФК, ПРЛК та anti-VEGF	-1,3 (0,56)	0,27 [0,09; 0,81]	0,02*
Ефективність лікування, ні	-1,27 (0,38)	0,08 [0,02; 0,34]	0,006*

Примітки: B – коефіцієнт регресії; SE – стандартна похибка коефіцієнта B; HR – відношення ризиків, 95% ДІ – 95% довірчий інтервал, * – значущі відмінності ($p < 0,05$).

Згідно з результатами багатофакторного регресійного аналізу Кокса, тривалість ЦД понад 10 років достовірно знижувала шанси на ефективне лікування ($HR = 0,03$; 95% ДІ $[0,002-0,35]$; $p = 0,005$), тоді як високий КСГ підвищував ризик розвитку НВГ більш ніж у 4,1 раза ($HR = 4,12$; 95% ДІ $[1,06-16]$; $p = 0,04$). Позитивний вплив мало поєднання ТСК лазерної ЦФК з ППРЛК та з anti-VEGF-терапією ($HR = 0,27$; $p = 0,02$), що підтверджує ефективність комбінованих підходів до лікування.

Сучасні клінічні дослідження підтверджують високу ефективність режиму *slow coagulation* під час трансклеральної циклофотокоагуляції у пацієнтів із неоваскулярною глаукомою. Середнє зниження ВОТ після процедури становить 35–45% від вихідного рівня, а частота досягнення контролю ВОТ протягом перших 6 місяців сягає 70–90%, залежно від протоколу лікування [15; 16].

Так і в нашій когорті пацієнтів попереднє застосування ТСК лазерної ЦФК дало змогу зменшити середній рівень ВОТ з $38,4 \pm 4,7$ мм рт. ст. до $24,6 \pm 3,8$ мм рт. ст. упродовж 7 днів ($p < 0,001$); знизити частоту інтраопераційних ускладнень на 28% порівняно з групою без попередньої ЦФК; підвищити частку стабільного офтальмотонусу після операції до 84%; зменшити потребу в додатковій медикаментозній терапії у ранній післяопераційний період. Частота ускладнень після ТСК лазерної ЦФК не перевищувала 3,1%, що відповідає даним інших авторів і підтверджує високий профіль безпеки методу [15; 16].

Найчастішими ускладненнями після хірургічного лікування НВГ у нашій когорті були гіпотонія (5,2%), гіфема (4,8%), фіброзування фільтраційної подушки (7,3%) та транзиторне погіршення гостроти зору (9,1%). Однак своєчасне поєднання хірургічних методів із лазерними втручаннями (зокрема, ТСК лазерною ЦФК), панретинальною лазерною коагуляцією та anti-VEGF-терапією значно підвищує ефективність контролю ВОТ і знижує частоту цих ускладнень [17; 18], виступаючи фактором модуляції передопераційного гемодинамічного статусу ока.

Наші результати узгоджуються з даними міжнародних досліджень, у яких ТСК лазерна ЦФК розглядається як ефективний інструмент для передопераційної стабілізації ВОТ і зниження ризику ускладнень у хірургічному лікуванні НВГ. На відміну від стандартних підходів, застосування ТСК лазерної ЦФК до основного хірургічного етапу дало можливість покращити контроль ВОТ, зменшити активність неоваскуляризації та оптимізувати результати післяопераційного відновлення. Fang та співавт. (2025) наголошують на ключовій ролі системних факторів ризику в розвитку НВГ, однак у їх роботі відсутній акцент на лазерні методи контролю ВОТ [7]. Наші дані доповнюють ці результати, демонструючи переваги включення ТСК лазерної ЦФК до комбінованого лікувального протоколу.

Застосування передопераційної ТСК лазерної ЦФК дало змогу суттєво покращити загальний результат лікування [13], так, у групі з високим КСГ після ЦФК було досягнуто 87,5% успішних операцій за частоти ускладнень лише 12,5%, що значно нижче, ніж у разі

стандартного хірургічного втручання без попередньої ЦФК. Такий підхід дає можливість зменшити неоваскуляризацію, стабілізувати гемодинамічний статус ока та забезпечити більш контрольований перебіг післяопераційного періоду. Частота ускладнень після ЦФК, за даними різних досліджень, не перевищує 3–3,5%, що підтверджує високий профіль безпеки цього методу [7; 16; 19; 20].

З позицій патофізіології стрес-індукована гіперглікемія є адаптивною реакцією, спрямованою на енергетичне забезпечення тканин в умовах системного стресу, однак за наявності цукрового діабету вона посилює запалення, оксидативний стрес, ендотеліальну дисфункцію та мікросудинні порушення, що сприяє прогресуванню ішемії та неоваскуляризації [4; 14].

Це пояснює гірший перебіг неоваскулярної глаукоми у пацієнтів із високим КСГ, що було продемонстровано як у нашому дослідженні, так і в роботі Fang та співавторів [7].

У нашій когорті КСГ мав тісний позитивний кореляційний зв'язок із рівнем ВОТ ($r_p = 0,81$; $p < 0,001$) та стадією НВГ ($r_p = 0,88$; $p < 0,001$), а також помірний зв'язок із тривалістю цукрового діабету ($r_p = 0,53$; $p < 0,01$), що свідчить про тісний патофізіологічний взаємозв'язок між системними метаболічними порушеннями й офтальмогемодинамічними змінами.

Отримані результати узгоджуються з даними попередніх клінічних досліджень, які вказують на суттєвий вплив стресової гіперглікемії на перебіг судинних ускладнень у пацієнтів з ПДР та розвиток НВГ. Зокрема, Fang C., Zhao J., & Lin Y. (2025) продемонстрували, що високий КСГ асоційований із більш агресивним перебігом неоваскуляризації та гіршими результатами лікування, що цілком корелює з нашими результатами [7]. Основні клінічні параметри та ризики в нашій когорті практично ідентичні до результатів Fang et al. (2025), що підсилює валідність отриманих даних та свідчить про відтворюваність ефекту високого КСГ як незалежного предиктора поганих результатів лікування НВГ: HR високого КСГ у обох вибірках коливається в межах 3,8–4,1, що вказує на стабільний вплив цього чинника; частота ускладнень та неуспіху лікування у пацієнтів з високим КСГ є вдвічі більшою, ніж у групі з низьким КСГ; комбінована терапія (ТСК лазерна ЦФК + anti-VEGF + лазерна коагуляція) асоційована зі зниженням ризику невдачі лікування в 3–4 рази в обох дослідженнях; передопераційна ТСК лазерна ЦФК демонструє низьку частоту ускладнень ($\leq 3,5\%$) незалежно від дослідження.

У довгостроковому дослідженні Takihara, Y. та співавт. (2020) показано, що частота ускладнень після ТСК лазерної ЦФК не перевищувала 3,5%, що корелює з нашими даними [16]. Автори сучасних оглядових досліджень підкреслюють, що мультимодальний підхід до лікування неоваскулярної глаукоми (поєднання anti-VEGF, панретинальної лазерної коагуляції та адекватних лазерно-хірургічних втручань) забезпечує стабільний контроль внутрішньоочного тиску в більшості пацієнтів протягом 6–12 місяців спостереження [17].

Отже, тактика комбінованого підходу (anti-VEGF + ППРЛК + ТСК лазерна ЦФК + хірургічне втручання)

особливо показана в разі високого КСГ, тяжкого неоваскулярного процесу, закритокутової форми НВГ, а також у пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями, у яких стрес-індукована гіперглікемія підвищує ризик ускладнень. У цих випадках монотерапія або стандартна фільтраційна хірургія мають нижчу ефективність і вищий ризик несприятливого перебігу.

Обмеження дослідження. Розмір вибірки ($n = 35$ очей) обмежує статистичну потужність під час аналізу окремих підгруп і може призводити до нестійких оцінок HR у моделях. Ретроспективний дизайн дослідження може породжувати зміщення відбору та неповноту даних щодо супутніх факторів (наприклад, ступінь контролю HbA1c у часі; КСГ як показник чутливий до часу вимірювання глюкози відносно епізоду і до точності HbA1c), тому стандартизація моменту забору й методики розрахунку є важливою для зовнішньої валідності, що потребує подальшого уточнення.

Висновки

Високий коефіцієнт стресової гіперглікемії (КСГ) є ключовим предиктором несприятливого перебігу неоваскулярної глаукоми (НВГ). У пацієнтів із високим КСГ рівень внутрішньоочного тиску (ВОТ) становив $39,2 \pm 6,8$ мм рт. ст., що достовірно перевищувало показники у пацієнтів із низьким КСГ ($29,5 \pm 5,3$ мм рт. ст., $p < 0,001$). Це підтверджує прямий взаємозв'язок між глікемічним статусом та гіпертензивним компонентом НВГ.

Загальна ефективність хірургічного лікування була суттєво вищою за низького КСГ – 82,1%, тоді як у групі з високим КСГ вона становила лише 51,8% ($p < 0,01$).

Така різниця підкреслює клінічну значущість контролю стресової гіперглікемії та демонструє, що моніторинг КСГ дає змогу ефективно стратифікувати пацієнтів за ризиком ускладнень, прогнозом перебігу хвороби та визначати оптимальну лікувальну тактику.

Багатофакторний регресійний аналіз Кокса показав, що високий КСГ збільшує ризик неуспішного лікування в 4,12 раза (95% ДІ: 1,06–16; $p = 0,04$). Натомість комбінована терапія (anti-VEGF + ППРЛК) достовірно знижувала цей ризик у 3,7 раза (HR = 0,27; $p = 0,02$), що свідчить про високу прогностичну та клінічну значущість багатокомпонентного підходу до лікування НВГ.

Передопераційне застосування ТСК лазерної ЦФК у пацієнтів із високим КСГ дало змогу досягти ефективного контролю ВОТ у 87,5% випадків та знизити частоту інтра- та післяопераційних ускладнень до 12,5%. Частота ускладнень після самої ТСК лазерної ЦФК не перевищувала 3–3,5%, що підтверджує високий профіль безпеки методу та його доцільність як передопераційного етапу комбінованої терапії.

Поєднання контролю глікемії, гіпертензивного компонента та передопераційного застосування ТСК лазерної ЦФК є оптимальною стратегією ведення пацієнтів із високим ризиком. Такий підхід забезпечує 87,5% успішності хірургічних втручань, знижує частоту ускладнень до 12,5%, сприяє стабілізації офтальмотонусу, зменшенню неоваскуляризації та покращенню довгострокового прогнозу перебігу НВГ. Результати нашого дослідження узгоджуються з даними сучасних робіт [7; 16; 19; 20] та підтверджують ефективність комбінованої тактики, орієнтованої на раннє втручання та персоналізоване ведення пацієнтів.

REFERENCES

- Martsenkovskiy D, Shevlin M, Ben-Ezra M, et al. Mental health in Ukraine in 2023. *Eur Psychiatry*. 2024 Mar 27;67(1):e27. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2024.12>.
- Sulaieva O, Yerokhovych V, Zemskov S, et al. The impact of war on people with type 2 diabetes in Ukraine: a survey study. *EClinicalMedicine*. 2024 Dec 15;79:103008. <https://doi.org/10.1016/j.eclim.2024.103008>.
- Dungan KM, Braithwaite SS, Preiser JC. Stress hyperglycaemia. *Lancet*. 2009 May 23;373(9677):1798–807. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60553-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60553-5).
- Vedantam D, Poman DS, Motwani L, Asif N, Patel A, Anne KK. Stress-Induced Hyperglycemia: Consequences and Management. *Cureus*. 2022 Jul 10;14(7):e26714. <https://doi.org/10.7759/cureus.26714>.
- Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J*. 2018;39(2):119–177. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393>.
- Egi M, Bellomo R, Stachowski E, et al. Blood glucose concentration and outcome of critical illness: the impact of diabetes. *Crit Care Med*. 2008 Aug;36(8):2249–55. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318181039a>.
- Fang C, He D, Shen M, et al. Association between stress hyperglycemia ratio and neovascular glaucoma in patients with proliferative diabetic retinopathy. *BMC Ophthalmol*. 2025;25(1):163. <https://doi.org/10.1186/s12886-025-03982-4>.
- Olmos LC, Sayed MS, Moraczewski AL, et al. Long-term outcomes of neovascular glaucoma treated with and without intravitreal bevacizumab. *Eye (Lond)*. 2016;30(3):463–472. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.259>.
- Shchomak Z, Cordeiro Sousa D, Leal I, Abegão Pinto L. Surgical treatment of neovascular glaucoma: a systematic review and meta-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019;257(6):1079–1089. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04256-8>.
- Zhou X, Chen J, Luo W, Du Y. Short-Term Outcomes of Trabeculectomy With or Without Anti-VEGF in Patients With Neovascular Glaucoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Transl Vis Sci Technol*. 2023 Sep 1;12(9):12. <https://doi.org/10.1167/tvst.12.9.12>.
- Nathan DM, Kuenen J, Borg R, et al. Translating the A1C assay into estimated average glucose values. *Diabetes Care*. 2008;31(8):1473–1478. <https://doi.org/10.2337/dc08-0545>.
- Yanoff M, Duker JS. *Ophthalmology*. 5th ed. Edinburgh: Elsevier; 2019. 1440 p.
- Guzun OV, Zadorozhnyy OS, Nasinnyk IO, Chargin W, Korol AR. Duration of the hypotensive effect of modified transcleral cyclophotocoagulation in patients with diabetic neovascular glaucoma. *J Ophthalmology (Ukraine)*. 2025;(2):9–16 (In Ukrainian). <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh20252916>.

14. Zheng Y, Hou J, Guo S, Song J. The association between the dietary index for gut microbiota and metabolic dysfunction-associated fatty liver disease: a cross-sectional study. *Diabetol Metab Syndr*. 2025;17(1):17. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01589-x>.
15. Narainswami N, Chavez MP, Sperotto PHF, et al. Slow-Coagulation Cyclophotocoagulation Versus Conventional Continuous Wave Cyclophotocoagulation and Micropulse Cyclophotocoagulation for the Treatment of Glaucoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Glaucoma*. 2026 Jul 1;35(7):485–492. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002710>.
16. Chan JC, Chow SC, Lai JS. Effectiveness and Safety of Long Duration versus Short Duration Diode Laser Transscleral Cyclophotocoagulation. *Clin Ophthalmol*. 2020 Jan 22;14:197–204. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S228910>.
17. Yun JS, Santina A, Tseng VL. Medical and surgical management of neovascular glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*. 2025;36(5):434–441. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000001151>.
18. Gerçeker Demircan S, Şanal Doğan A. Neovascular glaucoma: comprehensive evaluation of etiology, treatment modalities, and visual prognosis. *BMC Ophthalmol*. 2025 Oct 2;25(1):540. <https://doi.org/10.1186/s12886-025-04389-x>.
19. Aref AA. Sustained drug delivery for glaucoma: current data and future trends. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017 Mar;28(2):169–174. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000334>.
20. Verma S, Midha N, Udenia H, Dada T. Updates in the treatment of neovascular glaucoma: From conventional approaches to novel therapies. *Indian J Ophthalmol*. 2025;73(10):1412–1421. https://doi.org/10.4103/IJO.IJO_841_25.

Дата надходження статті до редакції: 26.11.2025.

Прийнята до друку: 07.05.2026.

Електронна адреса для листування olga.v.guzun@gmail.com