

Кореляція структурних і функціональних показників та її динаміка у хворих на прогресуючу та стабілізовану первинну відкритокутову глаукому

Панченко М. В., д-р мед. наук, професор; Гончарь О. М., канд. мед. наук;

Панченко Г. Ю., канд. мед. наук; Кітченко І. В., аспірант

Харківський національний медичний університет МОЗ України, Харків (Україна)

Structure-function correlations and their temporal dynamics in patients with progressive versus stable primary open-angle glaucoma

Panchenko M. V., Honchar O. M., Panchenko H. Iu., Kitchenko I. V.

Kharkiv National Medical University, Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv (Ukraine)

Резюме

Мета. Вивчення кореляції структурних і функціональних показників та її динаміки у хворих на прогресуючу та стабілізовану первинну відкритокутову глаукому за даними ОКТ та статичної комп'ютерної периметрії.

Матеріал та методи. Проведено обстеження і моніторинг 193 пацієнтів (338 очей). В 64 очах діагностована препериметрична глаукома, в 274 — периметрична первинна відкритокутова глаукома (ПВКГ). Термін спостереження — 70,6 місяця. Динаміка кореляції структурних і функціональних показників досліджена в 248 очах. Перебіг ПВКГ (прогресуючий та стабілізований) визначався протягом терміну спостереження за динамікою середнього відхилення світлочутливості MD.

Результати. При першому обстеженні у хворих на ПВКГ встановлено середньої сили прямий кореляційний зв'язок між MD і більшістю структурних показників (RNFL, Inf, 7/5, NFL). Між MD та GCC прямий кореляційний

зв'язок був слабкий ($r=0,2834$, $p<0,05$). При стабілізованій глаукомі між MD та GCC відмічався прямий кореляційний зв'язок середньої сили ($r=0,3976$, $p<0,05$), а при прогресуючій ПВКГ — слабкий ($r=0,2506$, $p<0,05$). Між NFL та GCC при стабілізованому перебігу ПВКГ визначався сильний прямий кореляційний зв'язок ($r=0,7069$, $p<0,05$), а при прогресуючому перебігу — середньої сили ($r=0,6235$, $p<0,05$). За час спостереження прямий кореляційний зв'язок між MD та GCC при прогресуючій ПВКГ зріс зі слабого ($r=0,277$, $p<0,05$) до середньої сили ($r=0,4136$, $p<0,05$), між NFL та GCC — зріс з середньої сили ($r=0,6242$, $p<0,05$) до сильного ($r=0,7056$, $p<0,05$). При стабілізованому перебігу ПВКГ встановлений при першому обстеженні середньої сили прямий кореляційний зв'язок між MD та GCC ($r=0,3655$, $p<0,05$) в динаміці став відсутнім ($p>0,05$).

Висновки. У хворих на ПВКГ відмічається прямий кореляційний зв'язок між середнім відхиленням світлочутливості MD і структурними показниками за даними ОКТ, притому найбільш сильний — при другій стадії глаукоми (зокрема, середньої сили між MD та GCC ($r=0,4989$, $p<0,05$) та між MD та NFL ($r=0,3905$, $p<0,05$)). При стабілізованому перебігу ПВКГ був більш сильний прямий кореляційний зв'язок між функціональними та структурними показниками (зокрема між MD та GCC — середньої сили ($r=0,3976$, $p<0,05$), між NFL та GCC — сильний ($r=0,7069$, $p<0,05$), в порівнянні з прогресуючим перебігом глаукоми (між MD та GCC — слабкий ($r=0,2506$, $p<0,05$), між NFL та GCC — середньої сили ($r=0,6235$, $p<0,05$)). В динаміці при прогресуючій глаукомі сила кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками за час спостереження збільшилась, а при стабілізованій ПВКГ — зменшилась (зокрема, прямий кореляційний зв'язок між MD та GCC при прогресуючій ПВКГ зріс зі слабого ($r=0,277$, $p<0,05$) до середньої сили ($r=0,4136$, $p<0,05$), а при стабілізованій ПВКГ — з середньої сили ($r=0,3655$, $p<0,05$) в динаміці став відсутнім).

DOI: <https://doi.org/10.31288/Ukrj.ophthalmol.202622128>

UDC: 617.7-007.681-036.17

Corresponding Author: Mykola V. Panchenko, Prof., Department of Ophthalmology, Kharkiv National Medical University, Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv (Ukraine).
Email: panchenko0802@gmail.com

Received 2025-10-13

Accepted 2026-02-23

Cite this article as: Panchenko MV, Honchar OM, Panchenko H Iu, Kitchenko IV. Structure-function correlations and their temporal dynamics in patients with progressive versus stable primary open-angle glaucoma. Ukr J Ophthalmol. 2026;1:21-28.



This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license

© Panchenko M.V., Honchar O.M., Panchenko H.Iu., Kitchenko I.V., 2026

Ключові слова: глаукома, первинна відкритокутова; макула/патофізіологія; зоровий нерв/патофізіологія; глаукома, первинна відкритокутова/патофізіологія; глаукома, первинна відкритокутова/ діагностика.

Abstract

Purpose: To examine structure-function correlations and their temporal dynamics in patients with progressive primary open-angle glaucoma (POAG) versus stable POAG based on optical coherence tomography (OCT) and static automated perimetry.

Material and Methods: We examined and followed up 193 patients (338 eyes). Of 338 eyes with glaucoma, 64 had preperimetric glaucoma and 274 had perimetric glaucoma. Patients were followed up for an average of 70.6 months. Dynamics of structure-function correlations was analyzed in 248 eyes. Each study eye was assessed as to whether the disease course was progressive or stable based on mean deviation (MD) dynamics over the follow-up.

Results: At baseline, in a total sample of patients with POAG, there was a moderate positive correlation between MD and most examined structural parameters (average thicknesses in the retinal nerve fiber layer [RNFL], inferior RNFL, 7/5 clock hour sector, and macular nerve fiber layer [mNFL]). MD was positively weakly correlated with ganglion cell complex (GCC) thickness ($r = 0.2834, p < 0.05$). MD was positively moderately correlated with GCC thickness ($r = 0.3976, p < 0.05$) in eyes with stable POAG, and positively weakly correlated with it ($r = 0.2506, p < 0.05$) in eyes with progressive POAG. Additionally, mNFL thickness was positively strongly correlated with GCC thickness ($r = 0.7069, p < 0.05$) in eyes with stable POAG, and positively moderately correlated with it ($r = 0.6235, p < 0.05$) in eyes with progressive POAG. In progressive POAG, a positive correlation be-

tween MD and GCC thickness changed from weak ($r = 0.277, p < 0.05$) to moderate ($r = 0.4136, p < 0.05$), whereas a positive correlation between mNFL thickness and GCC thickness changed from moderate ($r = 0.6242, p < 0.05$) to strong ($r = 0.7056, p < 0.05$) over the follow-up period. In stable POAG, MD was positively moderately correlated with GCC thickness at baseline ($r = 0.3655, p < 0.05$), and was not correlated over the follow-up ($p > 0.05$).

Conclusion: At baseline, in a total sample of eyes with POAG, there was a positive correlation between MD and structural OCT-based parameters, with the strongest correlation (moderate correlation between MD and GCC thickness [$r = 0.4989, p < 0.05$] and between MD and mNFL thickness [$r = 0.3905, p < 0.05$]) found in eyes with stage 2 POAG. Stronger positive structure-function correlations were found in eyes with stable glaucoma (e.g., a moderate correlation between MD and GCC thickness [$r = 0.3976, p < 0.05$] and a strong correlation between mNFL thickness and GCC [$r = 0.7069, p < 0.05$]) compared to eyes with progressive glaucoma (a weak correlation between MD and GCC thickness [$r = 0.2506, p < 0.05$] and a moderate correlation between mNFL and GCC thickness [$r = 0.6235, p < 0.05$]). The strength of structure-function correlation increased over the follow-up period in eyes with progressive glaucoma, and decreased over the follow-up period in eyes with stable glaucoma. In progressive POAG, a positive correlation between MD and GCC thickness changed from weak ($r = 0.277, p < 0.05$) to moderate ($r = 0.4136, p < 0.05$), whereas in stable POAG, MD was positively moderately correlated with GCC thickness at baseline ($r = 0.3655, p < 0.05$), and did not correlate with it at the final follow-up ($p > 0.05$).

Keywords: glaucoma, primary open-angle glaucoma, macular pathophysiology, optic nerve pathophysiology, primary open-angle glaucoma pathophysiology, primary open-angle glaucoma diagnosis.

Вступ

Глаукома, багатофакторна і прогресуюча оптична нейропатія, є основною причиною незворотної сліпоти та провідною за розповсюдженістю причиною сліпоти у світі [1].

Вивчення кореляцій структури і функції вкрай важливе для розуміння природи глаукоматозного пошкодження та укріплення основи для діагностичних рішень. Однак наявні на сьогоднішній день докази не надають чіткої і однозначної основи, яка б відображала характер взаємозв'язку структурних і функціональних змін [2].

Дослідження взаємозв'язку структурних та функціональних змін при первинній відкритокутовій глаукомі (ПВКГ) важливо для оцінки важкості захворювання і розуміння природного перебігу глаукоми [3, 4]. Клінічні дослідження змін структури і функції при ПВКГ показали високу варіабельність між людьми, окрім того вони показали можливу дисоціацію структурних та функціональних змін [3].

Дослідженнями ряду авторів показана наявність кореляційного зв'язку між показниками світлочутли-

вості сітківки (при периметрії за програмою 10-2 [5–9], за програмою 24-2 [9, 10, 11], за програмою 30-2 [8, 12, 13, 14]) та товщиною макулярної сітківки [7, 9], макулярним об'ємом [14], товщиною перипапільярних нервових волокон [9–13, 15] і товщиною гангліозних клітин сітківки в макулі [5, 6, 8, 9, 10, 12, 15] у хворих з первинною відкритокутовою глаукомою, а також у пацієнтів з нормотензивною глаукомою [16].

За даними Akar S. et al. (2023), Lee JW, et al. (2017), наявний кореляційний зв'язок помірної сили між функціональними показниками макули (за даними мікропериметрії [17] та периметрії за програмою 10-2 [17, 18]) та структурними показниками – товщиною шару перипапільярних нервових волокон сітківки [17] і шару гангліозних клітин сітківки [17, 18].

Дослідниками показана наявність кореляційного зв'язку між кутовою шириною дефектів товщини шару перипапільярних нервових волокон (RNFL) та середнім відхиленням світлочутливості (MD) [3] і тяжкістю глаукоми [19]. Однак висновки з даних досліджень стосуються тільки пацієнтів з одиничними дефектами RNFL та ранніми стадіями глаукоми [3].

При цьому в літературі наведені також суттєво відмінні і навіть протилежні данні. Так, згідно дослідженням Hondur G. et al. (2023) [20], між товщиною шару перипапільярних нервових волокон і показниками поля зору кореляційний зв'язок в очах з ексfolіативною глаукомою відсутній (хоча між товщиною шару гангліозних клітин сітківки і показниками поля зору він помірної сили).

А за даними Çelik G. et al. (2025) [21], не спостерігалось кореляційної залежності між структурними показниками (товщиною шару перипапільярних нервових волокон, товщиною шару гангліозних клітин сітківки) та функціональними (середнє відхилення світлочутливості MD), що визначаються при стандартній статичній периметрії 24-2, у пацієнтів з препериметричною глаукомою.

Поодинокими дослідженнями показана наявність кореляційного зв'язку між контрастною чутливістю сітківки та товщиною шару перипапільярних нервових волокон і комплексом гангліозних клітин сітківки у хворих на ПБКГ [22], а також між показниками електроретинографії та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки у осіб з підозрою на глаукому [23] та товщиною шару перипапільярних нервових волокон сітківки у пацієнтів з початковими стадіями глаукоми [24].

Дослідженню динаміки кореляційних зв'язків між функціональними та структурними показниками присвячені одиничні роботи. Так, Mohammadzadeh V. et al. (2020) [25] виявили слабкий або середньої сили кореляційний зв'язок між швидкостями змін структурних та функціональних показників макули (протягом трьох років чи більше) у пацієнтів з глаукомою, що приймали участь в дослідженні AGPS. При цьому Bollinger O. et al. (2023) [15] не виявили достовірних змін в кореляції протягом одного року між середнім відхиленням світлочутливості MD та товщиною шару перипапільярних нервових волокон і шару гангліозних клітин сітківки в очах з ПБКГ.

Також необхідно враховувати, що, за даними літератури, такі фактори, як форма фовеолярної ямки, кут нахилу вісі фовеа-диск, розташування скроневого шва та ін., можуть впливати на структурно-функціональні кореляції [26, 27]. Даних про кореляційні зв'язки між структурними та функціональними показниками та їх динаміку при прогресуючій та стабілізованій ПБКГ в доступній літературі ми не зустріли.

Мета дослідження. Вивчення кореляції структурних і функціональних показників та її динаміки у хворих на прогресуючу та стабілізовану первинну відкритокутову глаукому за даними оптичної когерентної томографії (ОКТ) та статичної комп'ютерної периметрії.

Матеріал і методи

Всього проведено обстеження і моніторинг 193 пацієнтів (338 очей), з них чоловіків 78 (40,4%), жінок 115 (59,6%), віком від 40 до 88 років. Середній вік складав 62,8 року. В 64 очах діагностована препери-

метрична глаукома, в 274 очах – периметрична ПБКГ. Перша стадія глаукоми діагностована в 145 очах, друга – в 74 очах. В 55 очах визначена третя стадія ПБКГ.

Термін спостереження складав від 12 до 185 місяців. Середній термін спостереження складав 70,6 місяця. Динаміка кореляції структурних і функціональних показників досліджена в 248 очах.

Перебіг ПБКГ (прогресуючий та стабілізований) у всіх очах визначався протягом терміну спостереження за динамікою середнього відхилення світлочутливості MD. Прогресуюча глаукома діагностована в 227 очах; в 111 очах встановлена стабілізована ПБКГ.

Критеріями включення були дорослі чоловіки та жінки з первинною відкритокутовою глаукомою.

Критеріями виключення були: наявність помутнінь середовища ока, що перешкождали проведенню ОКТ та комп'ютерної периметрії, вікова дегенерація макули, ретинопатії, хоріоретинальні рубці, амбліопія, міопія високого ступеня, некомпенсована артеріальна гіпертензія, некомпенсований цукровий діабет, захворювання сполучної тканини, наявність в анамнезі порушень кровообігу в судинах сітківки, четверта стадія глаукоми, наявність загальних захворювань, що перешкождали проведенню ОКТ та комп'ютерної периметрії, оперативні втручання на очному яблуці, за винятком неускладнених операцій з приводу катаракти та глаукоми в термін більше шести місяців до включення в дослідження [5].

Обстеження включало загальноприйняті офтальмологічні методи дослідження, статичну комп'ютерну периметрію (OCULUS Twinfield Version 2, (Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany) Program 30-2 full-threshold test) і оптичну когерентну томографію (MOCEAN 4000 OCT, Shenzhen Sltion Technology Co. Ltd., China; TOPCON 3D OCT-1000 Topcon Healthcare, Japan).

Стадію ПБКГ визначали за величиною зниження світлочутливості сітківки з середнім відхиленням світлочутливості MD, та відповідно до існуючої класифікації [28] глаукому I стадії визначали при MD \geq -6 дБ, глаукому II стадії – при MD від -6,01 до -12 дБ, та глаукому III стадії – при MD від -12,01 до -20,0 дБ (при наявності відповідної кількості точок зі зниженням світлочутливості).

Перебіг ПБКГ (прогресуючий та стабілізований) визначався за динамікою світлочутливості сітківки з середнім відхиленням світлочутливості MD [29] протягом терміну спостереження. При зменшенні MD від 0,05 дБ на рік і більше діагностували прогресуючий перебіг ПБКГ, а при зменшенні MD до 0,04 дБ на рік (або відсутності зменшенні MD) визначався стабілізований перебіг ПБКГ.

Препериметрична глаукома визначалась як найранніша стадія первинної відкритокутової глаукоми і діагностувалась за наявності глаукоматозних змін зорового нерва при відсутності глаукоматозних змін поля зору [30, 31].

До контрольної групи входило 29 здорових осіб (58 очей).

Дослідження було проведене згідно з принципами Гельсінської декларації. Всі пацієнти надали письмову інформовану згоду на участь в дослідженні. Схвалено Комісією з питань етики та біоетики Харківського національного медичного університету.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою пакету прикладних програм (IBM SPSS Statistics 27, США). Кореляцію структурних (товщина шару перипапільярних нервових волокон (RNFL), їх товщина в нижньому квадранті (Inf) та в секторі 7/5 годин (7/5); товщина шару нервових волокон сітківки в макулі (NFL); товщина комплексу гангліозних клітин сітківки (GCC)) і функціональних (середнє відхилення світлочутливості MD) параметрів визначали шляхом розрахунку коефіцієнта кореляції Пірсона (r). Кореляційний зв'язок класифікували як сильний при $r > 0,66$; середньої сили – при r від 0,33 до 0,66. Слабкий кореляційний зв'язок встановлювали при $r < 0,33$. При позитивному значенні коефіцієнта кореляції r визначали прямий кореляційний зв'язок, при негативному значенні r – зворотній кореляційний зв'язок. При вірогідності $p > 0,05$ кореляційний зв'язок вважали відсутнім.

Результати

В цілому по групі обстежених хворих на ПВКГ при першому обстеженні відмічався середньої сили прямий кореляційний зв'язок між середнім відхиленням MD і більшістю структурних показників, що визначалися (RNFL, Inf, 7/5 та NFL). Так, середньої сили прямий кореляційний зв'язок визначався між середнім відхиленням MD і товщиною шару перипапільярних нервових волокон ($r=0,5444$, $p<0,05$) та товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі ($r=0,5186$, $p<0,05$), що представлено на діаграмах розсіювання (рис. 1 та 2). Між середнім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки прямий кореляційний зв'язок був слабкий ($r=0,2834$, $p<0,05$).

Сильний прямий кореляційний зв'язок спостерігався між товщиною шару перипапільярних нервових волокон, їх товщиною в нижньому квадранті та їх товщиною в секторі 7/5 годин ($r=0,9286$, $r=0,7954$, та $r=0,8477$ відповідно, $p<0,05$). Між товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки ($r=0,6327$, $p<0,05$) а також між ними та зазначеними вище структурними показниками (RNFL, Inf, 7/5) встановлена наявність середньої сили прямого кореляційного зв'язку.

У пацієнтів з препериметричною глаукомою звертає увагу наявність середньої сили прямого кореляційного зв'язку між середнім відхиленням MD та товщиною шару перипапільярних нервових волокон ($r=0,3615$, $p<0,05$) та слабого прямого кореляційного зв'язку – з їх товщиною в нижньому квадранті ($r=0,2683$, $p<0,05$), при відсутності кореляційного

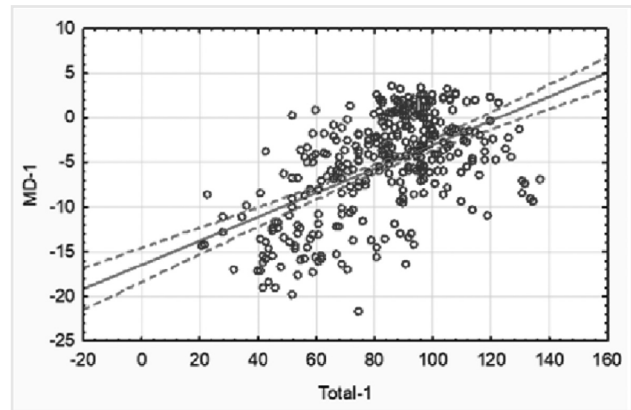


Рис. 1. Діаграма розсіювання, яка представляє структурно-функціональний зв'язок між середньою товщиною перипапільярних нервових волокон (Total-1) і середнім відхиленням світлочутливості (MD-1) поля зору (30-2) в цілому по групі ($r=0,5444$, $p=0,001$).

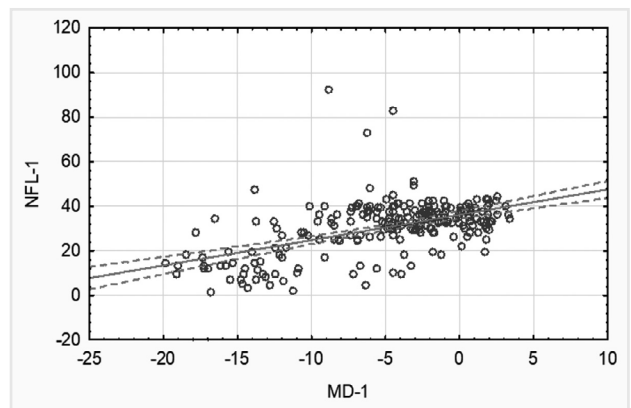


Рис. 2. Діаграма розсіювання, яка представляє структурно-функціональний зв'язок між середнім відхиленням світлочутливості (MD-1) поля зору (30-2) і середньою товщиною нервових волокон сітківки в макулі (NFL-1) в цілому по групі ($r=0,5186$, $p=0,0001$).

зв'язку між MD та іншими структурними показниками (NFL, GCC, 7/5).

При цьому середньої сили прямий кореляційний зв'язок відмічений між товщиною шару перипапільярних нервових волокон, їх товщиною в секторі 7/5 годин та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки ($r=0,583$, $r=0,3311$ та $r=0,4855$ відповідно, $p<0,05$); а також між товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі, товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки та товщиною шару перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин ($r=0,5503$, $r=0,3777$ та $r=0,4129$ відповідно, $p<0,05$). Сильний прямий кореляційний зв'язок спостерігався між товщиною шару перипапільярних нервових волокон та їх товщиною в секторі 7/5 годин ($r=0,7499$, $p<0,05$).

Аналіз кореляції функціональних та структурних показників при різних стадіях глаукоми показав, що при першій стадії ПВКГ слабкий прямий кореляційний зв'язок відмічався між середнім відхиленням MD

та товщиною шару перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин ($r=0,221$, $p<0,05$), при відсутності кореляційного зв'язку між MD та іншими структурними показниками (RNFL, Inf, NFL, GCC).

Як і при ПВКГ в цілому, сильний прямий кореляційний зв'язок спостерігався між товщиною шару перипапільярних нервових волокон та їх товщиною в нижньому квадранті ($r=0,8973$, $p<0,05$), між товщиною шару перипапільярних нервових волокон в нижньому квадранті та їх товщиною в секторі 7/5 годин ($r=0,7271$, $p<0,05$). Середньої сили прямий кореляційний зв'язок спостерігався між товщиною шару перипапільярних нервових волокон, їх товщиною в секторі 7/5 годин та товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі ($r=0,5985$, $r=0,377$ та $r=0,4525$ відповідно, $p<0,05$), а також між товщиною шару перипапільярних нервових волокон в нижньому секторі та товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі ($r=0,3759$, $p<0,05$) та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки ($r=0,4107$, $p<0,05$).

У хворих з другою стадією ПВКГ середньої сили прямий кореляційний зв'язок виявлено між середнім відхиленням MD та товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі ($r=0,3905$, $p<0,05$) і товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки ($r=0,4989$, $p<0,05$), а з іншими структурними показниками (RNFL, Inf, 7/5) прямий кореляційний зв'язок був слабким.

Кореляційні зв'язки між структурними показниками у пацієнтів з другою стадією ПВКГ були такі ж, як і в групі в цілому, за виключенням більш низької сили зв'язку в окремих випадках. Так, виявлений прямий кореляційний зв'язок був слабким між товщиною шару перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки ($r=0,3207$, $p<0,05$), товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі і товщиною шару перипапільярних нервових волокон ($r=0,296$, $p<0,05$), а з їх товщиною в нижньому секторі – був відсутній.

При третій стадії ПВКГ кореляційний зв'язок між середнім відхиленням MD та всіма структурними показниками був відсутній. Також не виявлено вірогідного кореляційного зв'язку між товщиною шару перипапільярних нервових волокон та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки. При цьому сильний прямий кореляційний зв'язок між дослідженими структурними показниками зорового нерва (RNFL, Inf, 7/5) зберігався (від $r=0,7948$ до $r=0,876$, $p<0,05$), а в останніх випадках – був середньої сили (від $r=0,3446$ до $r=0,6222$, $p<0,05$).

При аналізі кореляції функціональних та структурних показників в очах з різним перебігом ПВКГ було встановлено, що сила прямого кореляційного зв'язку суттєво відрізняється в очах з прогресуючою та стабілізованою глаукомою. Так, в очах зі стабілізованою глаукомою між середнім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки відмічався прямий кореляційний зв'язок середньої сили ($r=0,3976$,

$p<0,05$), а при прогресуючій ПВКГ – слабкий прямий кореляційний зв'язок ($r=0,2506$, $p<0,05$). Між товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки при стабілізованому перебігу ПВКГ мав місце сильний прямий кореляційний зв'язок ($r=0,7069$, $p<0,05$), а при прогресуючому перебігу глаукоми – прямий кореляційний зв'язок середньої сили ($r=0,6235$, $p<0,05$). Кореляційні зв'язки між іншими дослідженими параметрами при прогресуючій та стабілізованій глаукомі суттєво не відрізнялись і відповідали наведеним вище кореляційним зв'язкам по групі ПВКГ в цілому.

Досліджена нами динаміка кореляції функціональних та структурних показників в очах з різним перебігом ПВКГ за час спостереження показала, що при прогресуючій глаукомі сила кореляційного зв'язку за час спостереження підвищилася. Так, прямий кореляційний зв'язок між середнім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки при прогресуючій ПВКГ зріс зі слабого ($r=0,277$, $p<0,05$) до середньої сили ($r=0,4136$, $p<0,05$). А прямий кореляційний зв'язок між товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки в очах з прогресуючою глаукомою зріс з середньої сили ($r=0,6242$, $p<0,05$) до сильного ($r=0,7056$, $p<0,05$).

В очах зі стабілізованим перебігом ПВКГ за час спостереження сила кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками знизилася. Так, між середнім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки при стабілізованій ПВКГ при першому обстеженні був прямий кореляційний зв'язок середньої сили ($r=0,3655$, $p<0,05$), а в динаміці за час спостереження він став відсутнім ($p>0,05$).

Кореляційні зв'язки між іншими дослідженими параметрами при прогресуючій та стабілізованій глаукомі в динаміці за час спостереження суттєво не змінилися.

Обговорення

Встановлена нами наявність прямого кореляційного зв'язку між середнім відхиленням MD і структурними показниками, що визначалися за допомогою ОКТ, в цілому по групі обстежених пацієнтів з ПВКГ узгоджується з даними інших дослідників [8, 12, 13]. Середньої сили прямий кореляційний зв'язок між товщиною шару перипапільярних нервових волокон та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки, отриманий нами у хворих на ПВКГ, опосередковано узгоджується з даними Shin H.Y. et al. [10], згідно з якими коефіцієнт кореляції між RNFL та товщиною шару гангліозних клітин і внутрішнього плексіформного шару був статистично значущим і коливався в межах 0,534–0,807 в різних секторах.

При перепериметричній глаукомі наші дані підтверджують висновок про відсутність кореляції між серед-

нім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки [12, 21], проте отримані нами результати не підтверджують дані Çelik G. et al. (2025) про відсутність кореляційного зв'язку між середнім відхиленням MD та товщиною шару перипапільярних нервових волокон [21].

Це, на нашу думку, може свідчити про те, що в препериметричній стадії глаукоми спочатку виникають зміни в шарі гангліозних клітин сітківки, а потім в шарі нервових волокон сітківки та, можливо, перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин.

Встановлений нами у пацієнтів з першою стадією ПБКГ прямий кореляційний зв'язок між середнім відхиленням MD та товщиною шару перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин, при відсутності кореляційного зв'язку між MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки (як за нашими даними так і за даними Pang R. et al. (2024) [22]), опосередковано узгоджується з даними літератури про те, що витончення перипапільярних нервових волокон при ПБКГ найбільш часто виявляється у відповідному секторі [32]. Відсутність кореляційного зв'язку між середнім відхиленням MD та товщиною шару перипапільярних нервових волокон (RNFL) в першій стадії глаукоми при наявності середньої сили прямого кореляційного зв'язку при препериметричній глаукомі, на нашу думку, може бути обумовлено більш вираженими та більш швидкими змінами світлочутливості сітківки (і середнього відхилення MD) в порівнянні зі змінами товщини шару перипапільярних нервових волокон в початкових стадіях ПБКГ.

Згідно з результатами проведеного нами дослідження, тільки при другій стадії ПБКГ на перший план виходить найбільш сильний кореляційний зв'язок між змінами функціональних показників (середнім відхиленням MD) та структурними змінами гангліозних клітин сітківки (GCC), що узгоджується з даними Hwang H.S. et al. (2023) про наявність кореляції товщини GCC та світлочутливості сітківки [5].

При цьому статистично значущий кореляційний зв'язок спостерігається між середнім відхиленням MD та усіма дослідженими структурними показниками (NFL, RNFL, Inf, 7/5). Наші результати розходяться з даними Rezkallah A. et al. (2022) про відсутність статистично значущих кореляцій між середньою товщиною шару перипапільярних нервових волокон та чутливістю сітківки у пацієнтів з розвинутою глаукомою (MD менше $-12,0$ дБ) [33].

Відсутність кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками, встановлена нами у пацієнтів з третьою стадією ПБКГ, на нашу думку, може бути обумовлена тим, що суттєва частка з обстежених очей в цій групі досягли «floor effect». Отримані нами дані узгоджуються з результатами досліджень Rezkallah A. et al. (2022) [33] про відсутність статистично значущих кореляцій між світлочутливістю сітківки та товщиною GCC при ПБКГ в очах з MD

нижче ніж -20 дБ, та з даними Blumenthal E.Z. et al. [34] про відсутність кореляції структурних (RNFL) та функціональних (MD) показників в очах з термінальною глаукомою.

Проведений нами аналіз кореляцій при різному перебігу ПБКГ показав, що в очах зі стабілізованою глаукомою між товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки та середнім відхиленням MD відмічався прямий кореляційний зв'язок середньої сили, між GCC та товщиною шару нервових волокон сітківки в макулі мав місце сильний прямий кореляційний зв'язок, а при прогресуючій глаукомі – слабкий та середньої сили прямий кореляційний зв'язок відповідно. Встановлений нами більш слабкий кореляційний зв'язок між структурними та функціональними показниками при прогресуючій глаукомі може свідчити про наявність різних видів прогресування ПБКГ.

Встановлені нами розбіжності в динаміці сили кореляційного зв'язку між середнім відхиленням MD та товщиною комплексу гангліозних клітин сітківки при прогресуючій та стабілізованій глаукомі відображають суттєві відмінності цих форм ПБКГ, оскільки, за даними літератури, саме між цими показниками визначався найбільший коефіцієнт кореляції при дослідженні швидкості їх змін в динаміці [25].

Визначене нами підвищення сили прямого кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками за час спостереження при прогресуючому перебігу ПБКГ свідчить про однонаправленість змін досліджуваних показників в очах з прогресуючою глаукомою. Протилежна тенденція при стабілізованій глаукомі свідчить про наявність різнонаправлених змін, а також може свідчити про погіршення структурних показників при збереженні стабільного рівня середнього відхилення MD у частини обстежених пацієнтів, що узгоджується з даними Mohammadzadeh V. et al. (2020), згідно з якими у пацієнтів з ПБКГ в динаміці в терміни більше ніж три роки структурні зміни діагностувалися частіше, ніж функціональні [25].

Обмеженнями нашого дослідження може бути використання статичної периметрії за програмою 30-2, що суттєво збільшує площу сітківки, функції якої визначаються (в порівнянні з програмою 10-2). При цьому, на думку окремих дослідників, усереднення чутливості зорових полів, а також товщини шару гангліозних клітин сітківки і внутрішнього плексіформного шару по більшій площі призводить до більш високих значень кореляційного зв'язку при традиційній комп'ютерній периметрії ніж при периметрії з трекінгом очного дна [2]. Сильною стороною дослідження, на нашу думку, може бути визначення перебігу ПБКГ протягом всього терміну спостереження.

Заключення. 1. В цілому по групі обстежених хворих на ПБКГ відмічається прямий кореляційний зв'язок між середнім відхиленням світлочутливості MD і структурними показниками за даними ОКТ. Найбільш сильний кореляційний зв'язок між змінами

функціональних показників (середнім відхиленням MD) та структурними змінами (в тому числі гангліозних клітин сітківки) виявлені при другій стадії ПБКГ.

2. Сила прямого кореляційного зв'язку суттєво відрізняється в очах з прогресуючою та стабілізованою глаукомою. При стабілізованому перебігу ПБКГ спостерігається більш сильний прямий кореляційний зв'язок між функціональними та структурними показниками, в порівнянні з прогресуючим перебігом глаукоми.

3. Дослідження в динаміці виявили різнонаправлені зміни в кореляції функціональних та структурних показників при різному перебігу ПБКГ. Так, при прогресуючій глаукомі сила кореляційного зв'язку за час спостереження збільшилася. В очах зі стабілізованим перебігом ПБКГ за час спостереження сила кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками зменшилася.

В проведеній нами роботі не тільки визначена динаміка кореляційного зв'язку між функціональними та структурними показниками у хворих з прогресуючою та стабілізованою первинною відкритокутовою глаукомою. Наша робота доводить необхідність диференційованого підходу до залучення структурних змін при визначенні прогресуючого перебігу захворювання при різних стадіях ПБКГ.

Авторський внесок

Панченко В. М. – дослідження; збір та аналіз даних; розробка концепції; методологія; написання – дизайн, огляд і редагування; Гончарь О. М. – дослідження, аналіз даних; написання – рецензування і редагування; Панченко Г. Ю. – розробка концепції, збір даних; написання – огляд та редагування; Кітченко І. В. – збір та аналіз даних; розробка концепції; написання – дизайн, огляд та редагування. Всі автори прочитали і схвалили остаточну версію рукопису.

Фінансування

Автори заявляють, що під час підготовки цього рукопису не отримували жодних коштів, грантів чи іншої підтримки.

Відмови від відповідальності

Висловлені у поданій статті думки є власними думками авторів, а не офіційною позицією установи.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що вони не мають конфлікту інтересів, який міг би вплинути на їхню думку щодо предмета або матеріалів, описаних і обговорених у цьому рукописі.

Заява про дотримання етичних норм

Це дослідження було проведено відповідно до принципів Гельсінської декларації. Схвалено Комісією з питань етики та біоетики Харківського національного медичного університету.

Інформована згода

Всі пацієнти надали письмову інформовану згоду на участь в дослідженні.

Заява про доступність даних

Дані, отримані та/або проаналізовані під час цього дослідження, можна отримати у відповідного автора за обґрунтованим запитом.

Скорочення

ПБКГ – первинна відкритокутова глаукома; ОКТ – оптична когерентна томографія; MD – середнє відхилення світлочутливості; RNFL – товщина шару перипапільярних нервових волокон; Inf – товщина шару перипапільярних нервових волокон в нижньому квадранті; 7/5 – товщина шару перипапільярних нервових волокон в секторі 7/5 годин; NFL – товщина шару нервових волокон сітківки в макулі; GCC – товщина комплексу гангліозних клітин сітківки.

Література

- Bhartiya S, Ichhpujani P, Wadhvani M. Current perspectives in tackling glaucoma blindness. *Indian J Ophthalmol.* 2025 Mar 1;73(Suppl 2):S189-S196. doi: 10.4103/IJO.IJO_3280_23.
- Giammaria S, Sharpe GP, Dyachok O, Rafuse PE, Shuba LM, Nicoleta MT, et al. Elucidating macular structure-function correlations in glaucoma. *Sci Rep.* 2022 Jun 23;12(1):10621. doi: 10.1038/s41598-022-13730-z.
- Bak E, Choi HJ. Structure-function relationship in glaucoma: Optical coherence tomography en face imaging vs. red-free fundus photography. *Eye (Lond).* 2023 Oct;37(14):2969-2976. doi: 10.1038/s41433-023-02452-9.
- Malik R, Swanson WH, Garway-Heath DF. 'Structure-function relationship' in glaucoma: past thinking and current concepts. *Clin Exp Ophthalmol.* 2012 May-Jun;40(4):369-80. doi: 10.1111/j.1442-9071.2012.02770.x.
- Hwang HS, Lee EJ, Kim H, Kim TW. Relationships of Macular Functional Impairment With Structural and Vascular Changes According to Glaucoma Severity. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2023 Sep 1;64(12):5. doi: 10.1167/iovs.64.12.5.
- Miraftebi A, Amini N, Morales E, Henry S, Yu F, Afifi A, et al. Macular SD-OCT Outcome Measures: Comparison of Local Structure-Function Relationships and Dynamic Range. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016 Sep 1;57(11):4815-23. doi: 10.1167/iovs.16-19648.
- Liu CH, Chang SHL, Wu SC. Regional Relationship between Macular Retinal Thickness and Corresponding Central Visual Field Sensitivity in Glaucoma Patients. *J Ophthalmol.* 2017;2017:3720157. doi: 10.1155/2017/3720157.
- Angmo D, Kapoor A, Warjri GB, Azad SV, Chawla R, Gupta V, et al. Comparative evaluation of OCT with OCTA changes at the optic disc and macula in glaucoma suspect and early glaucoma. *Indian J Ophthalmol.* 2025 Mar 1;73(Suppl 2):S260-S266. doi: 10.4103/IJO.IJO_2575_23.
- Cirafici P, Maiello G, Ancona C, Masala A, Traverso CE, Iester M. Point-wise correlations between 10-2 Humphrey visual field and OCT data in open angle glaucoma. *Eye (Lond).* 2021 Mar;35(3):868-876. doi: 10.1038/s41433-020-0989-7.
- Shin HY, Park HY, Jung KI, Park CK. Comparative study of macular ganglion cell-inner plexiform layer and peripapillary retinal nerve fiber layer measurement: structure-function analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013 Nov 8;54(12):7344-53. doi: 10.1167/iovs.13-12667.
- Chua J, Li C, Chong R, Wong TT, Husain R, Aung T, Schmetterer L, Wong DWK. Enhancing the structure-function relationship in glaucoma using anatomical compensa-

- tion of retinal nerve fibre layer. *Br J Ophthalmol.* 2024 Nov 22;108(12):1665-1671. doi: 10.1136/bjo-2023-324792.
12. Kim KE, Park KH, Jeoung JW, Kim SH, Kim DM. Severity-dependent association between ganglion cell inner plexiform layer thickness and macular mean sensitivity in open-angle glaucoma. *Acta Ophthalmol.* 2014 Dec;92(8):e650-6. doi: 10.1111/aos.12438.
 13. Kallab M, Hommer N, Schlatter A, Chua J, Tan B, Schmidl D, et al. Combining vascular and nerve fiber layer thickness measurements to model glaucomatous focal visual field loss. *Ann N Y Acad Sci.* 2022 May;1511(1):133-141. doi: 10.1111/nyas.14732.
 14. Панченко МВ, Гончарь ОМ, Панченко ГЮ, Кітченко ІВ. Динаміка змін макулярного об'єму при різних стадіях та перебігу первинної відкритокутової глаукоми. *Офтальмол. журн.* 2025;2:17-21. doi: 10.31288/oftalmolzh202521721.
 15. Bollinger O, Gugleta K, Schmetterer L, Hasler PW, Min JCY, Kee DWW. Retrospective Analysis of Prognostic Value of Optical Coherence Tomography Angiography for the Development of Glaucomatous Damage - One Year Follow-Up Retrospective Observational Cohort Analysis. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2023 Apr;240(4):472-477. English. doi: 10.1055/a-1997-9328.
 16. Na JH, Kook MS, Lee Y, Baek S. Structure-function relationship of the macular visual field sensitivity and the ganglion cell complex thickness in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012 Jul 31;53(8):5044-51. doi: 10.1167/iovs.11-9401.
 17. Akar S, Tekeli O, Ozturker ZK. Macular integrity assessment microperimeter, Humphrey field analyzer and OCT in glaucoma practice: a correlation study. *Can J Ophthalmol.* 2023 Feb;58(1):18-26. doi: 10.1016/j.cjco.2021.07.004.
 18. Lee JW, Morales E, Sharifipour F, Amini N, Yu F, Afifi AA, Coleman AL, Caprioli J, Nouri-Mahdavi K. The relationship between central visual field sensitivity and macular ganglion cell/inner plexiform layer thickness in glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 2017 Aug;101(8):1052-1058. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-309208.
 19. Miura N, Omodaka K, Kimura K, Matsumoto A, Kikawa T, Takahashi S, et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer defect using wide-field en-face swept-source OCT images by applying the inner limiting membrane flattening. *PloS one.* 2017;12:e0185573. doi: 10.1371/journal.pone.0185573.
 20. Hondur G, Sen E, Bayraktar S, Ozkoyuncu Kocabas D, Elgin U, Tezel G. Evaluation of the segmented inner retinal layers in exfoliation glaucoma. *Int Ophthalmol.* 2023 Jun;43(6):1841-1848. doi: 10.1007/s10792-022-02583-0.
 21. Çelik G, Karaçocuk T, Çiftci F. Evaluation of additional points in the 24-2C visual field test in pre-perimetric glaucoma. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2025 Apr;52:104513. doi: 10.1016/j.pdpdt.2025.104513.
 22. Pang R, Peng J, Cao K, Sun Y, Pei XT, Yang D, et al. Association between contrast sensitivity function and structural damage in primary open-angle glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 2024 May 21;108(6):801-806. doi: 10.1136/bjo-2023-323539.
 23. Nanda J, Saha BC, Raj A, Singh P, Sinha P. Comparison of ganglion cell layer thickness and pattern electroretinography among glaucoma suspects and healthy controls. *Int Ophthalmol.* 2024 Sep 25;44(1):394. doi: 10.1007/s10792-024-03302-7.
 24. Bekollari M, Dettoraki M, Stavrou V, Skouroliakou A, Liaparinos P. Investigating the Structural and Functional Changes in the Optic Nerve in Patients with Early Glaucoma Using the Optical Coherence Tomography (OCT) and RETeval System. *Sensors (Basel).* 2023 May 5;23(9):4504. doi: 10.3390/s23094504.
 25. Mohammadzadeh V, Rabiolo A, Fu Q, Morales E, Coleman AL, Law SK, Caprioli J, Nouri-Mahdavi K. Longitudinal Macular Structure-Function Relationships in Glaucoma. *Ophthalmology.* 2020 Jul;127(7):888-900. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.01.023.
 26. Sepulveda JA, Turpin A, McKendrick AM. Individual Differences in Foveal Shape: Feasibility of Individual Maps Between Structure and Function Within the Macular Region. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016 Sep 1;57(11):4772-8. doi: 10.1167/iovs.16-19288.
 27. Bedggood P, Nguyen B, Lakkis G, Turpin A, McKendrick AM. Orientation of the Temporal Nerve Fiber Raphe in Healthy and in Glaucomatous Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017 Aug 1;58(10):4211-4217. doi: 10.1167/iovs.17-21995.
 28. Панченко МВ, Гончарь ОМ, Арустамова ГС, Переяслова ГС, Приходько ДО, Фрянцева МВ. Вплив комплексу ембріональних нейропептидів на динаміку світлочутливості сітківки у пацієнтів з первинною відкритокутовою глаукомою. *Офтальмол. журн.* 2017;6:16-19. doi: 10.31288/oftalmolzh201761619.
 29. Панченко МВ, Дурас ІГ, Гончарь ОМ, Приходько ДО, Переяслова ГС, Авілова ЛГ. Товщина хоріоїдеї у пацієнтів з прогресуючою та стабілізованою ПБКГ. *Офтальмол. журн.* 2018;6:19-22. doi: 10.31288/oftalmolzh201861922.
 30. Nishida T, Moghimi S, Yamane MLM, Wu JH, Mohammadzadeh V, Kamalipour A, et al. Vision-Related Quality of Life Among Healthy, Preperimetric Glaucoma, and Perimetric Glaucoma Patients. *Am J Ophthalmol.* 2023 Apr;248:127-136. doi: 10.1016/j.ajo.2022.12.018.
 31. Wu LL. [Facing up to the existence of preperimetric glaucoma]. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi.* 2022 Jan 11;58(1):6-10. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112142-20210713-00334.
 32. Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, Qiu K, Liu S, Li H, et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: a study on optical coherence tomography guided progression analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010 Jan;51(1):217-22. doi: 10.1167/iovs.09-3468.
 33. Rezkallah A, Douma I, Bonjour M, Mathis T, Kodjikian L, Denis P. Evaluation of the Correlation between Regional Retinal Ganglion Cell Damage and Visual Field Sensitivity in Patients with Advanced Glaucoma. *J Clin Med.* 2022 Aug 19;11(16):4880. doi: 10.3390/jcm11164880.
 34. Blumenthal EZ, Horani A, Sasikumar R, Garudadri C, Udaykumar A, Thomas R. Correlating structure with function in end-stage glaucoma. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging.* 2006 May-Jun;37(3):218-23. doi: 10.3928/15428877-20060501-06.