

УДК:612.017.1.617.7-022.7-092.19

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-1\(59\)-2684-2694](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-1(59)-2684-2694)

**Стасенко Аліна** доктор біологічних наук, доцент кафедри мікробіології та паразитології з основами імунології, Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0003-0847-1547>

**Салата Павло** кандидат медичних наук, асистент кафедри офтальмології, Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, м. Київ, <https://orcid.org/0009-0007-6815-3854>

**Салата Ольга** доктор медичних наук, професор кафедри мікробіології та паразитології з основами імунології, Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, м. Київ, <https://orcid.org/0009-0008-9099-8543>

## РОЛЬ ІМУННИХ ЧИННИКІВ В ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАННЯХ ОЧЕЙ

**Анотація.** Імунні чинники мають вирішальне значення в інфекційних захворюваннях очей. Молекулярні механізми, що лежать в основі захворювань очей, пов'язаних з імунітетом, є наслідком дисрегуляції імунних відповідей.

Проведено аналіз та узагальнення наукових публікацій щодо сучасного стану досліджень імунологічних чинників в інфекційних захворюваннях очей.

Імунні клітини як вродженої (нейтрофіли, моноцити, макрофаги, дендритні клітини та природні кілери), так і набутої (Т- і В-лімфоцити) імунних систем присутні на поверхні очей. Вроджена імунна система на рогівці та очній поверхні включає епітеліальні клітини, фібробласти, антиген-презентуючі клітини (клітини Лангерганса, дендритні клітини), нейтрофіли, макрофаги та природні кілери. Друга лінія захисту відповідальна за імунологічну пам'ять і швидше реагує на подальший вплив того ж стимулу. Імунні клітини знаходяться на очній поверхні, вільно прикріплені до поверхневого епітелію та в рогівковому і кон'юнктивальному епітелії та стромі. Слізна залоза також долучається до цього, оскільки її інтерстиціальні простори містять різні імунні клітини, включаючи В- і Т-клітини, дендритні клітини (ДК) та макрофаги. Молекули МНС І є ключовими для адаптивної відповіді CD8<sup>+</sup> Т-клітин, і також залучені у тонке налаштування продукції вроджених запальних цитокінів та антибактеріального імунітету.

Інфекції очей можуть бути спричинені надзвичайно широким спектром мікроорганізмів: бактеріями, вірусами, грибками або паразитами, які провокують імунну та запальну реакцію. Ці реакції спричиняють пошкодження тканин ока, яке може бути більш чи менш тяжким залежно як від вірулентності

мікроорганізму, так і від імунної відповіді хазяїна. Інфекційні захворювання очей включають складні взаємодії між патогенами, імунними реакціями господаря та шляхами пошкодження тканин.

**Ключові слова:** інфекційні захворювання очей, інфекційні механізми, імунні чинники.

**Stasenko Alina** Doctor of Biological Sciences Associate Professor of the Department of Microbiology and Parasitology with basics of Immunology of the Bogomolets National Medical University at Kyiv, <https://orcid.org/0000-0003-0847-1547>

**Salata Pavlo** Candidate of Medical Sciences, Assistant professor at the Department of Ophthalmology at Kyiv, <https://orcid.org/0009-0007-6815-3854>

**Salata Olha** Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Microbiology and Parasitology with basics of Immunology of the Bogomolets National Medical University at Kyiv, <https://orcid.org/0009-0008-9099-8543>

## THE ROLE OF IMMUNE FACTORS IN INFECTIOUS EYE DISEASES

**Abstract.** Immune factors are critical in infectious eye diseases. The molecular mechanisms underlying immune-related eye diseases result from the dysregulation of immune responses.

An analysis and comprehensive review of scientific publications on the current state of research into immunological factors in infectious eye diseases were conducted.

Immune cells from both the innate (neutrophils, monocytes, macrophages, dendritic cells, and natural killers) and adaptive (T and B lymphocytes) immune systems are present on the eye surface. The innate immune system on the cornea and ocular surface includes epithelial cells, fibroblasts, antigen-presenting cells (Langerhans cells, dendritic cells), neutrophils, macrophages, and natural killers. The second line of defense is responsible for immunological memory and responds more rapidly to subsequent exposure to the same stimulus. Immune cells are located on the ocular surface, loosely attached to the superficial epithelium as well as within the corneal and conjunctival epithelium and stroma. The lacrimal gland is also involved, as its interstitial spaces contain various immune cells, including, among others, B and T cells, dendritic cells (DCs), and macrophages. MHC I molecules are key to the adaptive CD8<sup>+</sup> T-cell response and are also involved in the fine-tuning of innate inflammatory cytokine production and antibacterial immunity.

Eye infections can be caused by an exceptionally broad spectrum of microorganisms, including bacteria, viruses, fungi, or parasites, which trigger immune and inflammatory response. These reactions cause damage to ocular tissues, the severity of which varies depending on both the virulence of the microorganism and the host's immune response. Infectious eye diseases involve complex interactions between pathogens, host immune reactions, and tissue damage pathways.

**Keywords:** infectious eye diseases, infectious mechanisms, immune factors.

**Постановка проблеми.** Хвороби очей надзвичайно поширені, і багато з них можуть призвести до порушення зору, включаючи сліпоту. У всьому світі принаймні 2,2 мільярда людей мають порушення зору [1]. Порушення зору вражає людей різного віку, причому більшість із них — старше 50 років. Катаракта та некориговані аномалії рефракції вважаються основними причинами порушення зору; однак інші причини порушення зору не можна ігнорувати. Вікова макулярна дегенерація, глаукома, тривалі системні захворювання, такі як діабет, що спричиняє діабетичну ретинопатію, інфекційні захворювання очей та травми ока — це такі ж важливі причини порушення зору, які потребують уваги [2].

Імунні фактори мають вирішальне значення в інфекційних захворюваннях очей, діючи як палиця з двома кінцями: вони захищають, використовуючи антитіла (IgA) та ферменти (лізоцим) для боротьби з патогенами (бактеріями, вірусами, грибками), але також спричиняють пошкодження через запалення (цитокіни, Т-клітини), яке може зашкодити зору, призводячи до таких станів, як увеїт або кератит, причому делікатний баланс між знищенням патогенів та захистом тканин часто визначає тяжкість захворювання.

За сучасними даними, гени головного комплексу гістосумісності HLA відіграють вирішальну роль у визначенні схильності до важких інфекцій [3, 4, 5]. Певні алелі HLA були пов'язані зі збільшеним ризиком інфекції або тяжкістю захворювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасний стан щодо ролі, яку відіграють МНС в інфекціях очей висвітлено в наукових публікаціях таких авторів як S. Medhasi, N. Chantratita, B. Adegboro, O. M. Kolawole, O. Lawani. M.Czop, K.Gasińska, E.Kosior-Jarecka досліджували диференціальну експресію мікроРНК пацієнтів із захворюваннями очей. C. A. Naranjo-Galvis, A. de-la-Torre, L. E. Mantilla-Muriel та ін. виявили генетичні поліморфізми в генах цитокінів у пацієнтів з очною токсоплазмозною інфекцією A. Leonardi, P. Daull, J.S. Garrigue, F. Cavarzeran, M. Docquier, A. Di Stefano та ін. виявили відмінності в експресії генів між весняним кератокон'юнктивітом та здоровими та оцінили експресію рецепторів розпізнавання образів.

**Мета статті** - провести аналіз і узагальнення наукових публікацій щодо сучасного стану імунологічних чинників в інфекційних захворюваннях очей.

**Виклад основного матеріалу.** За оцінками, близько 2,2 мільярда людей у світі страждають від тієї чи іншої форми порушення зору або захворювання очей, причому щонайменше один мільярд з цих людей перебуває в групі ризику втрати зору, якої можна уникнути [6]. Захворювання очей охоплюють широкий спектр інших станів з різною етіологією та патогенезом.

Молекулярні механізми, що лежать в основі захворювань очей, пов'язаних з імунітетом, є наслідком дисрегуляції імунних відповідей. Незбалансована активація різноманітних типів імунних клітин, запальних активаторів та шляхів

пов'язана з імунологічним патогенезом захворювань, пов'язаних з імунітетом, які відіграють важливу роль в імунних процесах у розвитку, прогресуванні та лікуванні різних захворювань очей, пов'язаних з імунітетом.

Очі є основними механізмами, за допомогою яких люди отримують зовнішню інформацію, що робить здоров'я очей вирішальним компонентом загального благополуччя. Імунологічні фактори відіграють значну роль у підтримці здоров'я очей; таким чином, збалансована імунна система ока є важливою для підтримки гомеостазу; однак, будь-яка дисрегуляція може призвести до незліченної кількості захворювань очей. Очі завжди розглядалися як органи з «імунним привілеєм». Цілісність гематоретинального бар'єру забезпечує імунний привілей для ока ссавців [7]. Цей привілей підтримується станом толерантності до власних антигенів, який додатково посилюється наявністю ендogenous імуносупресивних факторів [8, 9, 10] Імунологічний механізм в тканинах очей запобігає або усуває запалення та підтримує гомеостаз. За різних обставин, надмірна активація імунної системи індукує аутоімунітет, який певною мірою впливає на око та навколишні його тканини [7]. Загалом, захворювання очей охоплюють широкий спектр патологій з відмінними механізмами. Останні досягнення в галузі імунології ока попередньо з'ясували складну взаємодію між імунними компонентами та очними тканинами. Відкриття теорії імунних контрольних точок, окреслення функції Т- і В-клітин, а також дослідження генетичної схильності ще більше розширили наше розуміння патофізіології різних імунних захворювань очей [11]. Клітинні механізми імунної відповіді відіграють все більш важливу роль у патогенезі імунологічно пов'язаних захворювань очей. Крім Т- і В-клітин, інтенсивно досліджуються також ролі мікроглії та інших макрофагів [12].

Очна поверхня є унікальним середовищем з постійною взаємодією між анатомічними, фізіологічними та імунологічними особливостями.[13] Імунні клітини як вродженої (нейтрофіли, моноцити, макрофаги, дендритні клітини та природні кілери), так і адаптивної (Т- і В-лімфоцити) імунних систем присутні на поверхні очей. Першою лінією захисту в організмі зазвичай є вроджена імунна система. На рогівці та очній поверхні вона включає епітеліальні клітини, фібробласти, антиген-презентуючі клітини (клітини Лангерганса, дендритні клітини), нейтрофіли, макрофаги та природні кілери (ПК).[14] Вона не є антиген-специфічною, на відміну від адаптивної імунної системи, яка діє як друга лінія захисту, демонструє імунологічну пам'ять і швидше реагує на подальший вплив того ж стимулу. Імунні клітини знаходяться на поверхні очній, вільно прикріплені до поверхневого епітелію та в рогівковому і кон'юнктивальному епітелії та стромі.[15] Вони активно проходять через очну поверхню, до і від дренуючих лімфатичних вузлів, а також екстравазуються з судин.[16] Слізна залоза також долучається до цього, оскільки її інтерстиціальні простори містять різні імунні клітини, включаючи, В- і Т-клітини, дендритні клітини та макрофаги.[15, 17].

Алелі людських лейкоцитарних антигенів (HLA) та однонуклеотидні поліморфізми (ОНП) пов'язані з низкою інфекційних захворювань, причому тип відповіді, що виробляється чи ініціюється, варіює від людини до людини; ці відповіді визначаються багатьма факторами. ОНП у регіоні HLA-B, ймовірно, відіграють певну роль у вірусному пригніченні під час оперізувального герпесу, а три ОНП були ідентифіковані як пов'язані з інфекцією HLA-DRA.

Виявлено зв'язок між генетичними поліморфізмами у генах цитокінів IL-10, IFN- $\gamma$  та IL-1 $\beta$  і схильністю до очного токсоплазмозу [18]. Крім того показано, що інфекція *T. gondii* у серопозитивних осіб викликає зміни у профілі експресії генів у відповідних імунологічних шляхах, які можуть прогнозувати перебіг захворювання [19].

Молекули МНС I є ключовими не тільки для адаптивних відповіді CD8+ Т-клітин, але також залучені у тонке налаштування продукції вроджених запальних цитокінів та антибактеріального імунітету [20, 21].

Нещодавні дослідження підкреслюють критичну роль мікроРНК (міРНК) – малих некодуєчих РНК, що беруть участь у посттранскрипційній регуляції генів – у фізіології та патофізіології ока. міРНК регулюють експресію генів, зв'язуючись з цільовою мРНК, модулюючи численні процеси, такі як ріст клітин, апоптоз та диференціація [22-25]. Дисрегуляція міРНК пов'язана з різними віковими захворюваннями очей, такими як ретинопатія, глаукома та вікова макулярна дегенерація, тим самим порушуючи клітинний гомеостаз та сприяючи прогресуванню захворювання. Експериментальні дані, переважно отримані на мишачих моделях, показують, що міРНК регулюють диференціацію фоторецепторів, розвиток сітківки та виживання постмітотичних клітин сітківки [22].

Враховуючи їхнє значення як у нормі, так і в патологічних станах, мікроРНК вважаються новими біомаркерами. Слід зазначити, що мікроРНК можуть бути корисними в діагностиці, а також у моніторингу терапевтичних відповідей [25, 26]. Крім того, мікроРНК можуть бути потенційно використані як нові мішені для лікування захворювань очей людини. Зокрема, мікроРНК у позаклітинних везикулах були предметом досліджень з діагностичною та терапевтичною метою. Позаклітинні везикули – це нанорозмірні мембранозв'язані секреторні структури, які вивільняються майже з усіх клітин і відіграють вирішальну роль у міжклітинній комунікації та різних біологічних активностях [27].

Генетичні та епігенетичні регулятори можуть впливати (затримувати або прискорювати) на терміни запрограмованого старіння. В основі процесу старіння лежить кілька клітинних/метаболічних механізмів, включаючи оксидативний стрес, мітохондріальну дисфункцію, скорочення теломер, запалення, знижену проліферативну здатність, накопичену популяцію старіючих клітин та зниження імунної системи [28].

Клітинне старіння виникає як фізіологічний наслідок старіння, обмежуючи здатність клітин ока до проліферації. Вік впливає на всі структури ока, включаючи сплющення рогівки, змінену форму трабекулярної сітки, катаракту

кришталика, колагенізацію циліарного тіла, гіалінізацію судин сітківки, втрату паличок, а потім колбочок у макулі, а також зміни в судинній мережі та імунних реакціях [29]. Відповідно, вік є встановленим фактором ризику розвитку різних офтальмологічних захворювань [28].

Численні розширені мікрочипові аналізи досліджували диференціальну експресію мікроРНК у пацієнтів із захворюваннями очей [30]. Нормальному функціонуванню ока сприяє наявність цих мікроРНК у тканинах ока, які відіграють вирішальну роль у регуляції росту, проліферації, диференціації та апоптозу клітин [22]. Будь-яка дисрегуляція цих мікроРНК порушує належне функціонування цільових білків, пов'язаних зі здоров'ям очей, що призводить до виникнення різних захворювань очей [31, 32]. Експресія мікроРНК демонструє деякі зміни під час фізіологічного старіння очей і, зокрема, відіграє вирішальну роль у розвитку вікових офтальмологічних захворювань.

Новітні дані літератури показали, що не тільки слизова оболонка ока страждає від вікових змін на поверхні ока, але й вікові зміни в імунній системі можуть модулювати здоров'я очної поверхні.

Збалансована імунна відповідь в очах є вирішальною для збереження зору. Імунна система довгий час вважалася відмінною завдяки так званому «імунному привілею» її складових тканин. Нещодавно методи прижиттєвої візуалізації та транскриптоміки змінили наукове розуміння імунного ландшафту ока, наприклад, розкривши спеціалізацію популяцій імунних клітин у різних тканинах ока. У міру розвитку знань про фенотипи імунних клітин рогівки та сітківки були виявлені зв'язки як із системним імунітетом, так і з центральною та периферичною нервовою системами [33].

Інфекції очей можуть бути спричинені надзвичайно широким спектром мікроорганізмів: бактеріями, вірусами, грибками або паразитами, які провокують імунну та запальну реакцію [34]. Ці реакції спричиняють пошкодження тканин ока, яке може бути більш чи менш тяжким залежно як від вірулентності мікроорганізму, так і від імунної відповіді хазяїна [35]. Автори виявили відмінності в експресії генів між весняним кератокон'юнктивітом (ВКК) - алергічному захворюванні очей, що вражає дітей, з невизначеними патогенетичними механізмами та здоровими та оцінили експресію рецепторів розпізнавання образів. До списку генів з найбільшою гіперекспресією увійшли кілька хемокінів (CCL24, CCL18, CCL22, CXCL1), прозапальних цитокінів (IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, TGF $\beta$ -1) та генів, пов'язаних з сигнальними шляхами Th2 та Th17. Значно гіперекспресованими при ВКК були Toll-подібні рецептори (TLR)4 та TLR8, Dectin-1/CLEC7A, mincle/CLEC4E, MCR1, NOD2 та NLRP3, а також кілька генів, пов'язаних з їхніми шляхами. Кількість підвищено експресованих генів зростала зі ступенем тяжкості захворювання як у пацієнтів з IgE+, так і з IgE-. Імуногістохімічний аналіз кон'юнктивальних тканин ВКК підтвердив підвищену експресію цих молекул на рівні білка. Множинна експресія рецепторів розпізнавання образів свідчить про роль взаємодії господаря та патогена у розвитку ВКК.

**Висновки.**

Інфекційні захворювання очей включають складні взаємодії між патогенами, імунними реакціями господаря та шляхами пошкодження тканин. Гени головного комплексу гістосумісності HLA відіграють вирішальну роль у визначенні схильності до важких інфекцій.

Молекули MHC I є ключовими для адаптивної відповіді CD8<sup>+</sup> Т-клітин, і також залучені у тонке налаштування продукції вроджених запальних цитокінів та антибактеріального імунітету.

Алелі людських лейкоцитарних антигенів (HLA) та одонуклеотидні поліморфізми (ОНП) пов'язані з низкою інфекційних захворювань, причому тип відповіді, що виробляється чи ініціюється, варіює від людини до людини; ці відповіді визначаються багатьма факторами. ОНП у регіоні HLA-B, ймовірно, відіграють певну роль у вірусному пригніченні під час оперізувального герпесу, а три ОНП були ідентифіковані як пов'язані з інфекцією HLA-DRA. Виявлено зв'язок між генетичними поліморфізмами у генах цитокінів IL-10, IFN- $\gamma$  та IL-1 $\beta$  і схильністю до очного токсоплазмозу.

Нещодавні дослідження підкреслюють критичну роль мікроРНК (міРНК) – малих некодуєчих РНК, що беруть участь у посттранскрипційній регуляції генів – у фізіології та патофізіології ока. міРНК регулюють експресію генів, зв'язуючись з цільовою мРНК, модулюючи численні процеси, такі як ріст клітин, апоптоз та диференціація.

**Література**

1. World Health Organization. Eye care, vision impairment and blindness programme. 2025 <https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/eye-care-vision-impairment-and-blindness>.
2. Eye care, vision impairment and blindness. 2025. [https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab_1)
3. Perspective Chapter: Decoding the Complexity of HLA Genes – The Heart of Modern Immunogenetics WRITTEN BY Andreea Mirela Caragea, Laurentiu Camil Bohiltea, Alexandra Elena Constantinescu, Ileana Constantinescu and Radu-Ioan Ursu Submitted: 24 November 2024 Reviewed: 02 December 2024 Published: 24 January 2025 DOI: 10.5772/intechopen.1008543
4. Migliorini F., Torsiello E., Spiezia F., Oliva F., Tingart M., Maffulli N. Association between HLA genotypes and COVID-19 susceptibility, severity and progression: A comprehensive review of the literature. // European Journal of Medical Research. 2021;26(1):84. DOI: 10.1186/s40001-021-00563-1
5. Medhasi S., Chantratita N. Human leukocyte antigen (HLA) system: Genetics and association with bacterial and viral infections. // Journal of Immunology Research. 2022;26(2022): 9710376. DOI: 10.1155/2022/9710376
6. Trott, M., Driscoll, R., & Pardhan, S. The prevalence of sensory changes in post-COVID syndrome: A systematic review and meta-analysis // Front. Med., 25 August 2022 Sec. Infectious Diseases: Pathogenesis and Therapy Volume 9 - 2022 DOI: 10.3389/fmed.2022.980253
7. Nieto-Aristizábal I., Mera J.J., Giraldo J.D., Lopez-Arevalo H., Tobón G. J. From ocular immune privilege to primary autoimmune diseases of the eye. // Autoimmun Rev. 2022;21(8): 103122. 1 DOI: 0.1016/j.autrev.2022.103122

8. Fan Q., Li Z. Breach and restoration of retinal immune privilege: barrier failure, innate dysregulation, and adaptive autoimmunity // *Front Immunol.* 2025 Nov 27;16:1703382. DOI: 10.3389/fimmu.2025.1703382.
9. Photoreceptors inhibit pathological retinal angiogenesis through transcriptional regulation of Adam17 via c-Fos./ X. Wang, T. Wang, S. Kaneko, E. Kriukov, E. Lam, M. Szczepan et al. // *Angiogenesis.* 2024;27(3):379-395. DOI: 10.1007/s10456-024-09912-0.
10. Morohoshi K., Goodwin A.M., Ohbayashi M., Ono S.J. Autoimmunity in retinal degeneration: autoimmune retinopathy and age-related macular degeneration. // *J Autoimmun.* 2009;33(3-4):247-254. DOI: 10.1016/j.jaut.2009.09.003.
11. Prete M., Dammacco R., Fatone M.C., Racanelli V. Autoimmune uveitis: clinical, pathogenetic, and therapeutic features. // *Clin Exp Med.* 2016;16(2):125-136. DOI: 10.1007/s10238-015-0345-6.
12. Wang Y., Gao S., Cao F., Yang H., Lei F., Hou S. Ocular immune-related diseases: molecular mechanisms and therapy // *MedComm (2020).* 2024 Nov 28;5(12):e70021. DOI: 10.1002/mco2.70021
13. Foulsham W., Coco G., Amouzegar A., Chauhan S.K, Dana R. When clarity is crucial: Regulating ocular surface immunity. // *Trends Immunol* 2018;39:288–301. DOI: 10.1016/j.it.2017.11.007.
14. Ocular surface as barrier of innate immunity / R. Bolaños-Jiménez, A. Navas, E.P. López-Lizárraga, F.M. de Ribot, A. Peña, E.O. Graue-Hernández et al. // *Open Ophthalmol J* 2015 15;9:49–55. DOI: 10.2174/1874364101509010049.
15. Wiczorek R., Jakobiec F.A., Sacks E.H., Knowles D.M. The immunoarchitecture of the normal human lacrimal gland. Relevancy for understanding pathologic conditions. // *Ophthalmology* 1988;95:100–9. DOI: 10.1016/s0161-6420(88)33228-8.
16. de Paiva C.S., St Leger A.J., Caspi R.R. Mucosal immunology of the ocular surface. // *Mucosal Immunol* 2022;15:1143–57. DOI: 10.1038/s41385-022-00551-6.
17. D'Souza, Shetty R., Sethu S. Understanding the immunology of the ocular surface and its relevance to clinical practice // *Indian Journal of Ophthalmology* 73(4):p 516-520, April 2025. DOI: 10.4103/IJO.IJO\_1721\_24.
18. Genetic Polymorphisms in Cytokine Genes in Colombian Patients with Ocular Toxoplasmosis / C. A. Naranjo-Galvis, A. de-la-Torre, L. E. Mantilla-Muriel, L. Beltrán-Angarita, X. Elcoroaristizabal-Martín, R. McLeod et al. // *Infect Immun.* 2018 Mar 22;86(4):e00597-17. DOI: 10.1128/IAI.00597-17.
19. Naranjo-Galvis C. A., Cardona-Londoño K. Y., Orrego-Cardozo M., Elcoroaristizabal-Martín X. *Toxoplasma gondii* infection and peripheral-blood gene expression profiling of older people reveals dysregulation of cytokines and identifies hub genes as potential therapeutic targets *Heliyon* . 2022 Sep 8;8(9):e10576. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10576.
20. A review of the roles of Major Histocompatibility Complex (MHC) molecules in infections/ B. Adegboro, O. M. Kolawole, O. Lawani, F. Folahan, and A. A. Seriki, Adegboro et al. // *Afr. J. Clin. Exper. Microbiol.* 2022; 23 (2): 120 DOI:10.4314/ajcem.v23i2.2.
21. Xia S., Tao Y., Cui L., Yu Y., Xu S. MHC Class I Molecules Exacerbate Viral Infection by Disrupting Type I Interferon Signaling. // *J Immunol Res.* 2019. Article ID 5370706. DOI:10.1155/2019/5370706.
22. The role of microRNAs in the pathophysiology of the aging eye / M.Tamaddon, M. Fazel, D.Rezaee, M. A. Khalilzad, J. Majidpoor, H. Ahmadiéh et al. // *Review Ageing Res Rev.* 2025 Sep: Volume 111:102805. DOI: 10.1016/j.arr.2025.102805.
23. Chu-Tan J.A. and Natoli R. The potential for microRNA-based therapeutics in retinal disorders // *Annals of Translational Medicine* 2020 8(7):419-419 DOI:10.21037/atm.2020.03.57.
24. The role of microRNAs in the pathophysiology of human central nervous system: A focus on neurodegenerative diseases. / D. Rezaee, F. Saadatpour, N .Akbari, A. Zoghi, S. Najafi, P. Beyranvand et al. // *Ageing Res Rev.* 2023 Dec;92:102090. DOI: 10.1016/j.arr.2023.102090.

25. miRNAs as Biomarkers in Disease: Latest Findings Regarding Their Role in Diagnosis and Prognosis / C. E. Condrat, D. C. Thompson, M. G. Barbu, O. L. Bugnar, A. Boboc, D. Cretoiu et al. // *Review Cells*. 2020 Jan 23;9(2):276. DOI: 10.3390/cells9020276.

26. MicroRNA Biomarkers for Infectious Diseases: From Basic Research to Biosensing / L. Tribolet, E. Kerr, C. Cowled, A.G. D. Bean, C. R. Stewart, M. Dearnley et al. // *Front Microbiol*. 2020 Jun 3;11:1197. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01197.

27. Extracellular vesicles as tools and targets in therapy for diseases / M. A. Kumar, S.K. Baba, H. Q. Sadida, S. A. Marzooqi, J. Jerobin, F. H. Altemani et al. // *Signal Transduct Target Ther*. 2024 Feb 5;9(1):27. DOI: 10.1038/s41392-024-01735-1.

28. Asejeje F.O, Ogunro O.B. Deciphering the mechanisms, biochemistry, physiology, and social habits in the process of aging. // *Archives of Gerontology and Geriatrics Plus*. 2024;1(1): 100003. DOI:10.1016/j.aggp.2023.10000

29. Galletti J. G., de Paiva C.S. The ocular surface immune system through the eyes of aging // *Ocul Surf*. 2021 Apr;20:139-162. DOI: 10.1016/j.jtos.2021.02.007

30. Czop M., Gasińska K., Kosior-Jarecka E., Wróbel-Dudzińska D, Kocki J., Żarnowski T. Twenty novel microRNAs in the aqueous humor of pseudoexfoliation glaucoma patients. *Cells* 2023, 12, 737. DOI: 10.3390/cells12050737.

31. The Regulatory Role of MicroRNAs in Obesity and Obesity-Derived Ailments / J. A. Benavides-Aguilar, A. Torres-Copado, J. Isidoro-Sánchez, S. Pathak, A.K. Duttaroy, A. Banerje et al. // *Genes (Basel)*. 2023 Nov 13;14(11):2070. DOI: 10.3390/genes14112070.

32. ElShelmani H., Wride M. A., Saad T., Rani S., Kelly D. J., Keegan D. The Role of Deregulated MicroRNAs in Age-Related Macular Degeneration Pathology *Ocul Surf*. // *Transl Vis Sci Technol*. 2021 Feb 5;10(2):12. DOI:10.1167/tvst.10.2.12.

33. Wu M., Fletcher E. L., Chinnery H. R., Downie L. E., Mueller S. N. Redefining our vision: an updated guide to the ocular immune system // *Nature Reviews Immunology*. 2024. volume 24, pages 896–911 DOI: 10.1038/s41577-024-01064-y.

34. Ting D.S.J., Ho C.S., Deshmukh R., Said D.G., Dua H.S. Infectious keratitis: an update on epidemiology, causative microorganisms, risk factors, and antimicrobial resistance. // *Eye*. 2021;35(4):1084-1101. DOI:10.1038/s41433-020-01339-3.

35. Conjunctival transcriptome analysis reveals the overexpression of multiple pattern recognition receptors in vernal keratoconjunctivitis. / A. Leonardi, P. Daull, J.S. Garrigue, F. Cavarzeran, M. Docquier, A. Di Stefano et al. // *The Ocular Surface*. 2020;19:241-248. DOI: 10.1016/j.jtos.2020.09.009.

### **Refereces**

1. World Health Organization. Eye care, vision impairment and blindness programme. (2025) <https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/eye-care-vision-impairment-and-blindness>.

2. Eye care, vision impairment and blindness. (2025). [https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab_1)

3. Perspective Chapter: Decoding the Complexity of HLA Genes – The Heart of Modern Immunogenetics WRITTEN BY Andreea Mirela Caragea, Laurentiu Camil Bohiltea, Alexandra Elena Constantinescu, Ileana Constantinescu and Radu-Ioan Ursu Submitted: 24 November 2024 Reviewed: 02 December 2024 Published: 24 January 2025 DOI: 10.5772/intechopen.1008543

4. Migliorini F., Torsiello E., Spiezia F., Oliva F., Tingart M., Maffulli N. (2021) Association between HLA genotypes and COVID-19 susceptibility, severity and progression: A comprehensive review of the literature. // *European Journal of Medical Research*.;26(1):84. DOI: 10.1186/s40001-021-00563-1

5. Medhasi S., Chantratita N. (2022) Human leukocyte antigen (HLA) system: Genetics and association with bacterial and viral infections. // *Journal of Immunology Research.*;26(2022):97103-76. DOI: 10.1155/2022/9710376
6. Trott, M., Driscoll, R., & Pardhan, S. (2022) The prevalence of sensory changes in post-COVID syndrome: A systematic review and meta-analysis // *Front. Med.*, 25 August 2022 Sec. Infectious Diseases: Pathogenesis and Therapy Volume 9 - DOI: 10.3389/fmed.2022.980253.
7. Nieto-Aristizábal I., Mera J.J., Giraldo J.D., Lopez-Arevalo H., Tobón G. J. (2022) From ocular immune privilege to primary autoimmune diseases of the eye. // *Autoimmun Rev.*;21(8): 103122. DOI: 10.1016/j.autrev.2022.103122
8. Fan Q., Li Z. (2025) Breach and restoration of retinal immune privilege: barrier failure, innate dysregulation, and adaptive autoimmunity // *Front Immunol.* Nov 27;16:1703382. DOI: 10.3389/fimmu.2025.1703382.
9. Photoreceptors inhibit pathological retinal angiogenesis through transcriptional regulation of Adam17 via c-Fos. / X. Wang, T. Wang, S. Kaneko, E. Kriukov, E. Lam, M. Szczepan et al. (2024) // *Angiogenesis.*;27(3):379-395. DOI: 10.1007/s10456-024-09912-0.
10. Morohoshi K., Goodwin A.M., Ohbayashi M., Ono S.J. (2009) Autoimmunity in retinal degeneration: autoimmune retinopathy and age-related macular degeneration. // *J Autoimmun.*;33(3-4):247-254. DOI: 10.1016/j.jaut.2009.09.003.
11. Prete M., Dammacco R., Fatone M.C., Racanelli V. (2016) Autoimmune uveitis: clinical, pathogenetic, and therapeutic features. // *Clin Exp Med.*;16(2):125-136. DOI: 10.1007/s10238-015-0345-6.
12. Wang Y., Gao S., Cao F., Yang H., Lei F., Hou S. (2024) Ocular immune-related diseases: molecular mechanisms and therapy // *MedComm* (2020). Nov 28;5(12):e70021. DOI: 10.1002/mco2.70021
13. Foulsham W., Coco G., Amouzegar A., Chauhan S.K, Dana R. (2018) When clarity is crucial: Regulating ocular surface immunity. // *Trends Immunol.*;39:288–301. DOI: 10.1016/j.it.2017.11.007.
14. Ocular surface as barrier of innate immunity / R. Bolaños-Jiménez, A. Navas, E.P. López-Lizárraga, F.M. de Ribot, A. Peña, E.O. Graue-Hernández et al. (2015) // *Open Ophthalmol J* 15;9:49–55. DOI: 10.2174/1874364101509010049.
15. Wiczorek R., Jakobiec F.A., Sacks E.H., Knowles D.M. (1988) The immunoarchitecture of the normal human lacrimal gland. Relevancy for understanding pathologic conditions. // *Ophthalmology*;95:100–9. DOI: 10.1016/s0161-6420(88)33228-8.
16. de Paiva C.S., St Leger A.J., Caspi R.R. (2022) Mucosal immunology of the ocular surface. // *Mucosal Immunol*;15:1143–57. DOI: 10.1038/s41385-022-00551-6.
17. D'Souza; Shetty R., Sethu S. (2025) Understanding the immunology of the ocular surface and its relevance to clinical practice // *Indian Journal of Ophthalmology* 73(4):p 516-520, April. DOI: 10.4103/IJO.IJO\_1721\_24.
18. Genetic Polymorphisms in Cytokine Genes in Colombian Patients with Ocular Toxoplasmosis / C. A. Naranjo-Galvis, A. de-la-Torre, L. E. Mantilla-Muriel, L. Beltrán-Angarita, X. Elcoroaristizabal-Martín, R. McLeod et al. (2018) // *Infect Immun.* Mar 22;86(4):e00597-17. DOI: 10.1128/IAI.00597-17.
19. Naranjo-Galvis C. A., Cardona-Londoño K. Y., Orrego-Cardozo M., Elcoroaristizabal-Martín X. (2022) Toxoplasma gondii infection and peripheral-blood gene expression profiling of older people reveals dysregulation of cytokines and identifies hub genes as potential therapeutic targets *Heliyon* . Sep 8;8(9):e10576. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10576.
20. A review of the roles of Major Histocompatibility Complex (MHC) molecules in infections/ B. Adegboro, O. M. Kolawole, O. Lawani, F. Folahan, and A. A. Seriki, Adegboro et al. (2022) // *Afr. J. Clin. Exper. Microbiol.*; 23 (2): 120. DOI:10.4314/ajcem.v23i2.2.

21. Xia S., Tao Y., Cui L., Yu Y., Xu S. (2019) MHC Class I Molecules Exacerbate Viral Infection by Disrupting Type I Interferon Signaling. // *J Immunol Res*. Article ID 5370706. DOI:10.1155/2019/5370706.
22. The role of microRNAs in the pathophysiology of the aging eye/ M.Tamaddon, M. Fazel, D.Rezaee, M. A. Khalilzad, J. Majidpoor, H. Ahmadih et al. (2025) // *Review Ageing Res Rev*. Sep; Volume 111:102805. doi: 10.1016/j.arr.2025.102805. Epub 2025 Jun 14. PMID: 40523530 DOI: 10.1016/j.arr.2025.102805.
23. Chu-Tan J.A. and Natoli R. (2020) The potential for microRNA-based therapeutics in retinal disorders // *Annals of Translational Medicine* 8(7):419-419 DOI:10.21037/atm.2020.03.57.
24. The role of microRNAs in the pathophysiology of human central nervous system: A focus on neurodegenerative diseases. / D. Rezaee, F. Saadatpour, N .Akbari, A. Zoghi, S. Najafi, P. Beyranvand et al. (2023) // *Ageing Res Rev*. Dec;92:102090. DOI: 10.1016/j.arr.2023.102090.
25. miRNAs as Biomarkers in Disease: Latest Findings Regarding Their Role in Diagnosis and Prognosis / Carmen Elena Condrat, Dana Claudia Thompson, Madalina Gabriela Barbu, Oana Larisa Bugnar, Andreea Boboc, Dragos Cretoiu et al. (2020) // *Review Cells*. Jan 23;9(2):276. DOI: 10.3390/cells9020276.
26. MicroRNA Biomarkers for Infectious Diseases: From Basic Research to Biosensing / L.Tribolet, E. Kerr, C. Cowled, A.G. D. Bean, C. R. Stewart, M. Dearnley et al. (2020) // *Front Microbiol*. Jun 3:11:1197. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01197.
27. Extracellular vesicles as tools and targets in therapy for diseases / M. A. Kumar, S.K. Baba, H. Q. Sadida, S. A. Marzooqi, J. Jerobin, F. H. Altemani et al. (2024) // *Signal Transduct Target Ther*. Feb 5;9(1):27. DOI: 10.1038/s41392-024-01735-1.
28. Asejeje F.O, Ogunro O.B. (2024) Deciphering the mechanisms, biochemistry, physiology, and social habits in the process of aging. // *Archives of Gerontology and Geriatrics Plus*.;1(1):100003. DOI:10.1016/j.aggp.2023.10000.
29. Galletti J. G., de Paiva C.S. (2021) The ocular surface immune system through the eyes of aging // *Ocul Surf*. Apr;20:139-162. DOI: 10.1016/j.jtos.2021.02.007.
30. Czop M., Gasińska K., Kosior-Jarecka E., Wróbel-Dudzińska D, Kocki J., Żarnowski T. (2023) Twenty novel microRNAs in the aqueous humor of pseudoexfoliation glaucoma patients. *Cells* , 12, 737. DOI: 10.3390/cells12050737.
31. The Regulatory Role of MicroRNAs in Obesity and Obesity-Derived Ailments / J. A. Benavides-Aguilar, A. Torres-Copado, J. Isidoro-Sánchez, S. Pathak, A.K. Duttaroy, A. Banerje et al. (2023) // *Genes (Basel)*. Nov 13;14(11):2070. DOI: 10.3390/genes14112070.
32. ElShelmani H., Wride M. A., Saad T., Rani S., Kelly D. J., Keegan D. (2021) The Role of Deregulated MicroRNAs in Age-Related Macular Degeneration Pathology *Ocul Surf*. // *Transl Vis Sci Technol*. Feb 5;10(2):12. DOI: 10.1167/tvst.10.2.12.
33. Wu M., Fletcher E. L., Chinnery H. R., Downie L. E., Mueller S. N. (2024) Redefining our vision: an updated guide to the ocular immune system // *Nature Reviews Immunology* volume 24, pages 896–911. DOI: 10.1038/s41577-024-01064-y
34. Ting D.S.J., Ho C.S., Deshmukh R., Said D.G., Dua H.S. (2021) Infectious keratitis: an update on epidemiology, causative microorganisms, risk factors, and antimicrobial resistance. *Eye*.; 35(4):1084-1101. DOI:10.1038/s41433-020-01339-3.
35. Conjunctival transcriptome analysis reveals the overexpression of multiple pattern recognition receptors in vernal keratoconjunctivitis. / A. Leonardi, P. Daull, J.S. Garrigue, F. Cavarzeran, M. Docquier, A. Di Stefano et al. (2020) // *The Ocular Surface*.;19:241-248. DOI:10.1016/j.jtos.2020.09.009.