



# Оцінювання біосумісності зволожувальних офтальмологічних засобів у контексті їхніх фізико-хімічних характеристик

Л. М. Іванець<sup>1</sup> A,B,D,F, М. В. Власюк<sup>1</sup> C,E

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Проаналізовано вплив ключових фізико-хімічних властивостей зволожувальних очних крапель (в'язкості, рН і поверхневого натягу) на їхню біосумісність із тканинами очної поверхні. Обґрунтовано необхідність чіткої кореляції між кількісними характеристиками препаратів і фізіологічними показниками слізної рідини для забезпечення тривалого терапевтичного ефекту при синдромі сухого ока. Результати мають прикладне значення для вдосконалення технологій виробництва та підвищення якості сучасних офтальмологічних засобів.

**Мета роботи** – оцінити вплив фізико-хімічних властивостей зволожувальних очних крапель на біосумісність і толерантність до очної поверхні.

**Матеріали і методи.** Для дослідження використано зразки зволожувальних очних крапель: «Оптінол 0,4 %», «Артеар», «Віаль Сльоза», «Артелак Гіпромелоза» та «Офтолік Ультра». Густину та рН визначали за методиками Державної Фармакопеї України, поверхневий натяг вимірювали сталагмометричним методом, в'язкість – методом капілярної віскозиметрії. Вимірювання здійснювали при фізіологічній температурі 35 °С. Результати дослідження проаналізували з використанням статистичних методів.

**Результати.** Біорелевантним критеріям оптимально відповідають фізико-хімічні показники зволожувальних очних крапель «Оптінол 0,4 %» і «Артелак Гіпромелоза». «Артелак Гіпромелоза» – єдиний зразок, чий поверхневий натяг у чистому вигляді та при модельному розведенні відповідає фізіологічній нормі, забезпечуючи оптимальне розтікання. Інші препарати при розведенні суттєво втрачали поверхневу активність, проте «Офтолік Ультра» та «Оптінол 0,4 %» характеризувалися найбільш стабільною та комфортною в'язкістю.

**Висновки.** Здійснили порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей (густина, рН, поверхневий натяг і в'язкість) п'яти зразків очних зволожувальних крапель із різною хімічною природою активних компонентів. Встановлено, що за комплексом біорелевантних критеріїв найбільш наближеними до фізіологічної норми є показники препаратів «Оптінол 0,4 %» та «Артелак Гіпромелоза». Доведено, що сталагмометричні та віскозиметричні методи є ефективними інструментами для експрес-контролю якості та прогнозування біосумісності рідких офтальмологічних засобів.

**Ключові слова:** синдром сухого ока, зволожувальні очні краплі, фізико-хімічні властивості, поверхневий натяг, в'язкість, біосумісність.

**Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики.** 2026. Т. 19, № 2(51). С. 179-183

## Biocompatibility assessment of lubricating ophthalmic agents in the context of their physicochemical characteristics

L. M. Ivanets, M. V. Vlasjuk

The paper analyzes the impact of key physicochemical properties of lubricating eye drops (viscosity, pH, and surface tension) on their biocompatibility with ocular surface tissues. The necessity of a strict correlation between the quantitative characteristics of the preparations and the physiological parameters of the tear fluid is substantiated to ensure a long-term therapeutic effect in dry eye syndrome. The results obtained are of practical importance for improving production technologies and enhancing the quality of modern ophthalmic agents.

**The aim of this study** was to evaluate the impact of the physicochemical properties of lubricating eye drops on their biocompatibility and ocular surface tolerance.

**Materials and methods.** The study involved samples of lubricating eye drops: "Optinol 0.4 %", "Aritear", "Vial Sleza", "Artelac Hypromellose", and "Oftolik Ultra". Density and pH were determined according to the methods of the State Pharmacopoeia of Ukraine. Surface tension was measured using the stalagmometric method and viscosity was determined by capillary viscometry. All measurements were performed at a physiological temperature of 35 °C. Statistical analysis of the results was carried out using standard statistical methods.

### ARTICLE INFO



UDC 615.457.011:544.7

DOI: [10.14739/2409-2932.2026.2.353713](https://doi.org/10.14739/2409-2932.2026.2.353713)

Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(2):179-183

**Keywords:** dry eye syndrome, lubricating eye drops, physicochemical properties, surface tension, viscosity, biocompatibility.

Received: 10.03.2026 // Revised: 28.04.2026 // Accepted: 08.05.2026

© The Author(s) 2026. This is an open access article under the [Creative Commons CC BY 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**Results.** The physicochemical parameters of the lubricating eye drops "Optinol 0.4 %" and "Artelac Hypromellose" were found to optimally meet biorelevant criteria. Artelac Hypromellose was the only sample whose surface tension, both in pure form and upon model dilution, corresponds to the physiological norm, ensuring optimal spreading. While other preparations significantly lost their surface activity upon dilution, "Oftolik Ultra" and "Optinol 0.4 %" demonstrated the most stable and comfortable viscosity.

**Conclusions.** A comparative analysis of the physicochemical properties (density, pH, surface tension, and viscosity) of five lubricating eye drop samples with different chemical natures of their active components was conducted. It was established that according to the complex of biorelevant criteria, the parameters of "Optinol 0.4 %" and "Artelac Hypromellose" are the closest to the physiological norm. It has been proven that stalagmometric and viscometric methods are effective tools for rapid quality control and predicting the biocompatibility of liquid ophthalmic agents.

**Keywords:** dry eye syndrome, lubricating eye drops, physicochemical properties, surface tension, viscosity, biocompatibility.

**Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(2):179-183**

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, порушення зору різного генезу мають понад 300 млн людей у світі. Стрімке зростання захворюваності безпосередньо пов'язане з науково-технічним прогресом та зміною способу життя: тривалою роботою за моніторами (комп'ютерний зоровий синдром), широким використанням гаджетів, впливом кондиціонованого повітря й агресивних чинників довкілля. Однією з найпоширеніших офтальмопатологій є синдром сухого ока [1].

Синдром сухого ока – багатофакторне захворювання поверхні ока, що характеризується втратою гомеостазу слізної плівки. Етіологічними чинниками патології є або недостатня секреція слезової рідини, або її надмірне випаровування внаслідок деструкції ліпідного шару. Клінічно це виявляють за відчуттям дискомфорту, стороннього тіла в оці та зниженням гостроти зору, що суттєво погіршує якість життя пацієнтів. Якщо не буде призначено своєчасну й адекватну терапію, можуть виникнути тяжкі ксеротичні зміни аж до незворотної втрати зорових функцій [2].

За даними сучасної фахової літератури, застосування препаратів штучної слези залишається оптимальним і найбільш ефективним методом корекції синдрому сухого ока будь-якого генезу. Такі засоби імітують властивості натуральної слези, сприяючи відновленню гідродинаміки та захисних властивостей слізної плівки.

Сучасний фармацевтичний ринок пропонує широкий спектр офтальмологічних розчинів, які відрізняються за хімічною природою активних компонентів та рівнем в'язкості. Проте ефективність і безпека зволожувальних крапель залежать не лише від складу діючих речовин, але й від їхніх фізико-хімічних характеристик, як-от рН, поверхневого натягу та в'язкості [3]. Саме ці параметри визначають здатність препарату рівномірно розподілятися по рогівці (розтікання), тривалість його утримання на очній поверхні та загальну біосумісність.

Отже, детальне вивчення і порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей сучасних засобів – штучних сліз є актуальним завданням.

## Мета роботи

Оцінити вплив фізико-хімічних властивостей зволожувальних очних крапель на біосумісність і толерантність до очної поверхні.

## Матеріали і методи дослідження

Об'єкти дослідження – офтальмологічні розчини з ідентичним або зіставним вмістом активних компонентів. Зокрема проаналізували такі зволожувальні очні краплі: «Оптінол 0,4 %» (Jadran – Galenski Laboratorij d.d, Хорватія), «Арітеар» (Aristopharma Ltd., Бангладеш), «Віаль Сльоза» (Фармак, АТ, Україна), «Артелак Гіпромелоза» (Др. Герхард Манн Хем.-фарм. Фабрик ГмбХ, Німеччина) і «Офтолік Ультра» (Фарміджеа С.П.А., Італія). Усі флакони мають вбудований крапельний пристрій і містять по 10 мл офтальмологічних розчинів.

Перед виконанням вимірювань усі зразки офтальмологічних розчинів витримували на водяній бані за температури 35 °С (температура поверхні рогівки ока) протягом 30 хвилин. Густина очних крапель визначали за допомогою пікнометра згідно з вимогами Державної Фармакопеї України (ДФУ). рН вимірювали потенціометричним методом відповідно до загальної статті ДФУ за допомогою рН-метра 150МИ з похибкою вимірювань  $\pm 0,01$  [4].

Поверхневий натяг очних крапель визначали за допомогою скляного сталагмометра Траубе прямого типу (об'єм резервуара – 2,5 мл) методом Харкінсона, що ґрунтується на обрахунку крапель, які відриваються від капіляра сталагмометра під дією сили тяжіння. У момент відриву вага краплі дорівнює силі поверхневого натягу рідини. Визначення в'язкості очних крапель здійснювали віскозиметричним методом із використанням скляного капілярного віскозиметра Оствальда ВПЖ-2 [4].

Вимірювання здійснили тричі, результати наведено як середнє значення окремих вимірювань із відповідним стандартним відхиленням. Для систематизації та опрацювання даних використано Microsoft Excel.

## Результати

Результати оцінювання фізико-хімічних параметрів зволожувальних очних крапель при 35 °С наведено в таблиці 1.

Для імітації фізіологічного розведення в кон'юнктивальному мішку, що відбувається миттєво після інстиляції та моргання, під час дослідження застосовано модельні системи зі зразків, які вивчали, розведених у пропорції 80:20. Згідно з усталеною практикою вивчення офтальмологічних засобів, випробування здійснили на

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості зразків зволожувальних очних крапель при 35 °С

Назва зразка	Густина ( $\rho$ ), г/см <sup>3</sup>	pH	Динамічна в'язкість ( $\eta$ ), мПа × с	Поверхневий натяг ( $\sigma$ ), мН/м
«Оптінол 0,4 %»	1,029 ± 0,002	7,37 ± 0,02	9,69 ± 0,15	52,38 ± 0,45
«Арітеар»	1,010 ± 0,001	8,06 ± 0,03	2,01 ± 0,05	65,75 ± 0,52
«Віаль Сльоза»	1,052 ± 0,003	7,67 ± 0,02	1,38 ± 0,02	65,68 ± 0,61
«Артелак Гіпромелоза»	1,041 ± 0,002	7,56 ± 0,02	4,31 ± 0,08	39,32 ± 0,38
«Офтолік Ультра»	1,014 ± 0,002	7,49 ± 0,04	20,80 ± 0,32	52,58 ± 0,48
Цільовий діапазон для очних крапель	–	5,8–8,5	5–15	35–46

Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості зразків зволожувальних очних крапель у розведенні 80 % при 35 °С

Назва зразка	pH	Динамічна в'язкість ( $\eta$ ), мПа × с	Поверхневий натяг ( $\sigma$ ), мН/м
«Оптінол 0,4 %»	7,50 ± 0,02	5,66 ± 0,14	60,05 ± 0,55
«Арітеар»	8,17 ± 0,04	1,27 ± 0,05	67,25 ± 0,68
«Віаль Сльоза»	7,71 ± 0,03	1,03 ± 0,04	69,18 ± 0,72
«Артелак Гіпромелоза»	7,55 ± 0,03	2,95 ± 0,08	47,29 ± 0,44
«Офтолік Ультра»	7,58 ± 0,02	11,08 ± 0,25	60,17 ± 0,58
Прийнятні межі	5,8–9,0	5–15	35–50

суміші препарату та штучної сльози у пропорції 80:20 [5,6,7]. Фізико-хімічні властивості зразків зволожувальних очних крапель у розведенні 80 % (модельований стан *in situ*) при 35 °С наведено в таблиці 2.

## Обговорення

Початкову толерантність під час інстиляції препаратів визначає їхній вихідний фізико-хімічний профіль. Оптиміальний терапевтичний ефект і комфорт пацієнта досягаються за умови відповідності показників pH, в'язкості та поверхневого натягу препарату вузькому фізіологічному діапазону, що забезпечує стабільність прекорнеальної слізної плівки [8,9].

Аналіз фізико-хімічних властивостей досліджених оригінальних засобів (табл. 1) дав змогу встановити, що не всі зразки повною мірою відповідають встановленим критеріям комфорту, особливо за параметрами реологічного профілю. Так, значення pH усіх проаналізованих препаратів відповідали межам фізіологічної норми, що мінімізує ризик виникнення рефлекторної сльозотечі та подразнення слизової оболонки ока при інстиляції.

Динамічна в'язкість людської сльози в нормі низька та становить 1,3–5,9 мПа × с [10,11]. Для пролонгування дії препарату в місці застосування рекомендована в'язкість очних крапель має бути не нижчою за ці значення і становити приблизно 15 мПа × с для синдрому сухого ока середнього ступеня тяжкості [12].

Умові забезпечення тривалого утримання препарату без погіршення зорових функцій відповідає препарат з оптимальним значенням в'язкості – «Оптінол 0,4 %». В'язкість «Артелак Гіпромелози» відповідає нижній межі норми. Препарати, в'язкість яких менша за 5 мПа × с,

занадто швидко вимиваються з рогівки («Арітеар» і «Віаль Сльоза»). В'язкість «Офтолік Ультра» перевищує верхню межу рекомендованого діапазону. Пацієнт може відчувати зниження чіткості зору, яке не зникає протягом кількох хвилин після інстиляції крапель. Занадто в'язка рідина викликає відчуття стороннього тіла в оці, спричиняючи дискомфорт.

Важливим критерієм біосумісності офтальмологічних засобів є їхня здатність до розтікання по поверхні рогівки, що безпосередньо залежить від величини поверхневого натягу. Нормальне значення поверхневого натягу людської сльози становить 40–46 мН/м (при синдромі сухого ока – 50 мН/м) [13,14]. Поверхневий натяг очних крапель має бути дещо нижчим за фізіологічний показник сльози, проте офтальмологічні препарати з поверхневим натягом менше ніж 35 мН/м викликають в очах відчуття болю та дискомфорту [15].

За результатами аналізу характеристик поверхневого натягу, для зразків «Арітеар» і «Віаль Сльоза» ці показники суттєво перевищують межі встановленого референтного діапазону. Високий поверхневий натяг перешкоджає розтіканню очних крапель по рогівці ока. Показники поверхневого натягу препаратів «Оптінол 0,4 %» та «Офтолік Ультра» характеризувалися помірним перевищенням верхньої межі біоревалентності. Зразок «Артелак Гіпромелоза» мав найвищу поверхневу активність, що є оптимальним для швидкого формування захисного шару.

Отже, за сукупністю фізико-хімічних характеристик жоден із досліджених зразків не характеризувався їх оптимальним поєднанням. Втім, важливе значення має не лише початкова відповідність препарату фізіологічним нормам, але й збереження його функціональних властивостей після змішування з нативною сльозою.

Моделювання фізіологічного розведення не чинило суттєвого впливу на рівень рН досліджених очних крапель (табл. 2). Це підтверджує надійність використаних допоміжних речовин – буферних компонентів. Встановлено, що три зразки очних крапель не відповідали референтним вимогам щодо в'язкості, оскільки встановлено значення, що не досягають нижньої межі фізіологічної норми. Це є основним недоліком препаратів для лікування синдрому сухого ока: короткий час утримання препаратів в оці і, відповідно, короткочасний ефект усунення симптомів.

Показники в'язкості препаратів «Оптінол 0,4 %» та «Офтолік Ультра» повною мірою відповідають встановленому референтному діапазону, що сприяє досягненню тривалого терапевтичного ефекту.

Сучасним підходом в офтальмології є підвищення біодоступності шляхом застосування мукоадгезивних систем доставки, де мукоадгезію визначають як нековалентну взаємодію полімеру з муциновим шаром слізної плівки. Відомо, що гіалуронова кислота та її натрієва сіль (діюча речовина «Оптінолу 0,4 %») мають виражені мукоадгезивні властивості та в'язко-пружні ефекти. Такі характеристики полімерів забезпечують тривалішу ретенцію розчину на поверхні ока, мінімізують втрати через назолакримальний дренаж і сприяють кращій місцевій активності компонентів [16]. Поєднання натрію гіалуронату з TS-полісахаридом [17] у складі препарату «Офтолік Ультра» забезпечує синергічну дію на епітелій рогівки, зокрема сприяє міграції клітин епітелію, усуває нерівності очної поверхні.

Висока в'язкість препарату сама по собі не є гарантією тривалого утримання розчину на очній поверхні. Ефективність дії засобів групи штучної слюзи істотно залежить від їхньої здатності до змочування, що визначається низьким показником поверхневого натягу. Саме оптимальні параметри поверхневої активності сприяють рівномірному розподілу крапель по рогівці та стабілізації прекорнеальної слізної плівки, що в поєднанні з реологічними властивостями пролонгує терапевтичний ефект.

При фізіологічному розведенні показники поверхневого натягу зразків «Артеар» і «Віаль Сльоза» значно зростають, перевищуючи верхню межу референтного діапазону. Концентрація поверхнево-активних речовин у розчинах знижується, і показник поверхневого натягу зростає, наближаючись до значення чистої води. Це може призводити до погіршення змочуваності епітелію рогівки. Оптимальний профіль поверхневого натягу навіть після розведення зберіг препарат «Артелак Гіпромелоза» (верхня межа) попри те, що його в'язкість *in situ* виявилася дещо нижчою за норму.

Зауважимо, що натрію гіалуронат (активний компонент «Оптінолу 0,4 %» і «Офтоліку Ультра»), будучи ефективним зволожувачем, поступається гіпромелозі за рівнем поверхневої активності. Саме тому введення гіпромелози до складу офтальмологічних засобів як допоміжного сурфактанту є обґрунтованим рішенням для досягнення оптимального розподілу препарату по очній поверхні. Висока поверхнева активність гіпромелози забезпечує мінімальний крайовий кут змочування, що дає змогу

розчину швидко розподілятися по гідрофобному епітелію рогівки. Цей процес супроводжується позитивним ефектом Марангоні: внаслідок градієнта поверхневого натягу рідина очних крапель спрямовується з ділянки низького поверхневого натягу в ділянку високого [18]. Така спрямована дифузія сприяє рівномірному розподілу лікарської речовини та запобігає утворенню так званих сухих плям на рогівці.

Отже, «Артелак Гіпромелоза» – єдиний зразок, чий поверхневий натяг і в нативному (39,32 мН/м), і в розведеному (47,29 мН/м) стані повністю відповідає фізіологічній нормі, що гарантує ідеальне розтікання по рогівці. Проте такий низький поверхневий натяг не є однозначною перевагою, оскільки може скорочувати тривалість стабільності слізної плівки. Натомість при модельному розведенні значення поверхневого натягу інших препаратів зростає до 60,0–69,0 мН/м, що суттєво знижує їхню поверхневу активність. Водночас зразки «Офтолік Ультра» та «Оптінол 0,4 %» навіть після розведення зберегли показники в'язкості в межах терапевтичного діапазону 5,0–15,0 мПа × с, що є критично важливим для пролонгації дії.

Результати дослідження підтвердили, що сталагмометричний метод є інформативним і доступним інструментом для експрес-контролю якості. Вибір методу сталагмометрії Траубе обґрунтований його точністю під час кількісного аналізу розчинів поверхнево-активних речовин. На відміну від статичних методів (кільця Дю Нуї чи пластини Вільгельмі), які часто дають похибку на в'язких розчинах, сталагмометрія враховує не лише термодинамічні параметри, але й кінетику формування краплі [19,20]. Цей метод забезпечує високу відтворюваність результатів і можливість оперативного контролю параметрів безпосередньо в умовах виробничого циклу або експрес-аналізу в лабораторії, що підтверджено класичними методичними рекомендаціями [21,22].

Використання сталагмометра Траубе дало змогу досягти високої точності вимірювань за умови економічної доступності обладнання [23] Окремою перевагою обраного методу сталагмометрії є його відповідність способу застосування досліджених препаратів.

Отже, застосування віскозиметрії та сталагмометрії дає змогу прогнозувати біосумісність і клінічну ефективність рідких офтальмологічних засобів ще на етапі лабораторних досліджень.

## Висновки

1. Усі досліджені офтальмологічні засоби мають стабільний показник рН, який не змінюється при фізіологічному розведенні.

2. За реологічними властивостями найбільш наближеними до цільових значень є препарати «Оптінол 0,4 %» та «Офтолік Ультра».

3. Зразок «Артелак Гіпромелоза» характеризувався найвищою здатністю до розтікання, хоча низький показник поверхневого натягу може обмежувати тривалість стабілізації прекорнеальної плівки.

**Фінансування**

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

**Подяки**

Для покращення читабельності та лінгвістичної якості тексту частково використовували інструменти штучного інтелекту.

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

**Conflicts of interest:** authors have no conflict of interest to declare.

**Відомості про авторів:**

Іванець Л. М., канд. хім. наук, доцент каф. загальної хімії, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України.

ORCID ID: [0000-0003-1377-8025](https://orcid.org/0000-0003-1377-8025)

Власюк М. В., здобувачка вищої освіти, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України.

ORCID ID: [0009-0009-4446-8071](https://orcid.org/0009-0009-4446-8071)

**Information about the authors:**

Ivanets L. M., PhD, Associate Professor of Department of General Chemistry, Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine.

Vlasyuk M. V., Student, Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine.



Людмила Іванець (Liudmyla Ivanets)  
[ivanec@tdmu.edu.ua](mailto:ivanec@tdmu.edu.ua)

**References**

- Rolando M, Merayo-Llodes J. Management Strategies for Evaporative Dry Eye Disease and Future Perspective. *Curr Eye Res.* 2022;47(6):813-23. doi: [10.1080/02713683.2022.2039205](https://doi.org/10.1080/02713683.2022.2039205)
- Jones L, Craig JP, Markoulli M, Karpecki P, Akpek EK, Basu S, et al. TFOS DEWS III: Management and Therapy. *Am J Ophthalmol.* 2025;279:289-386. doi: [10.1016/j.ajo.2025.05.039](https://doi.org/10.1016/j.ajo.2025.05.039)
- Syndrom sukhooho oka. Klinichna nastanova, zasnovana na dokazah [Dry eye syndrome. Evidence-based clinical practice]. 2019. Ukrainian. Available from: <http://mtd.dec.gov.ua/index.php/uk/haluzevi-standarty-ta-klinichni-nas-tanovy/item/421-syndrom-sukhooho-oka>
- Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [The State Pharmacopoeia of Ukraine]. 2nd ed. Vol. 1. Kharkiv, (UA): State Enterprise Ukrainian Scientific Pharmacopoeial Center of Medicines Quality; 2015. Ukrainian.
- Andreadis II, Karavasili C, Thomas A, Komnenou A, Tzimtzimis M, Tzetzis D, et al. In Situ Gelling Electrospun Ocular Films Sustain the Intraocular Pressure-Lowering Effect of Timolol Maleate: In Vitro, Ex Vivo, and Pharmacodynamic Assessment. *Mol Pharm.* 2022;19(1):274-86. doi: [10.1021/acs.molpharmaceut.1c00766](https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.1c00766)
- Montmeat D, Thouvenin A, Rasamison R, Boudy V. Physicochemical Properties and Rheological Behavior of Artificial Tears for Dry Eye Syndrome. *J Ocul Pharmacol Ther.* 2025;41(10):604-10. doi: [10.1177/10807683251364169](https://doi.org/10.1177/10807683251364169)
- Račić A, Krstonošić V, Micov A, Pecikoza U, Dobričić V, Turković E, et al. Stability and Efficacy of Mucoadhesive Eye Drops Containing Opatadine HCl: Physicochemical, Functional, and Preclinical In Vivo Assessment. *Pharmaceutics.* 2025;17(4):517. doi: [10.3390/pharmaceutics17040517](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17040517)
- Bhawale R, Srivastava V, Mehra NK. Advances in ophthalmic formulation development. In: Jain K, Yadav AK, editors. *Advances in Pharmaceutical Product Development*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2025. p. 289-319. Available from: [10.1007/978-981-97-9230-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-97-9230-6_12)
- Thacker M, Singh V, Basu S, Singh S. Biomaterials for dry eye disease treatment: Current overview and future perspectives. *Exp Eye Res.* 2023;226:109339. doi: [10.1016/j.exer.2022.109339](https://doi.org/10.1016/j.exer.2022.109339)
- Vega JF, Fernández M, Cardil A, Calafel I, Martínez-Soroa I, Sarriegui AP, et al. Shedding light on the viscoelastic behavior of artificial and human tears: A microrheological approach. *Phys Fluids.* 2023;35(7). doi: [10.1063/5.0152482](https://doi.org/10.1063/5.0152482)
- Muñoz G, Millicovsky M, Cerrudo J, Peñalva A, Machtey M, Reta J, et al. Exploring tear viscosity with quartz crystal microbalance technology. *Rev Sci Instrum.* 2024;95(7):075107. doi: [10.1063/5.0207182](https://doi.org/10.1063/5.0207182)
- Blasco-Martinez A, Mateo-Orobia A, Blasco-Alberto J, Pablo-Julvez L. Rheological Behavior Patterns in Artificial Tears. *Optom Vis Sci.* 2022 May 1;99(5):455-62. doi: [10.1097/OPX.0000000000001885](https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001885)
- Tiffany JM, Winter N, Bliss G. Tear film stability and tear surface tension. *Curr Eye Res.* 1989;8(5):507-15. doi: [10.3109/02713688909000031](https://doi.org/10.3109/02713688909000031)
- Nagyová B, Tiffany JM. Components responsible for the surface tension of human tears. *Curr Eye Res.* 1999;19(1):4-11. doi: [10.1076/ceyr.19.1.4.5341](https://doi.org/10.1076/ceyr.19.1.4.5341)
- Hotujac Grgurević M, Juretić M, Hafner A, Lovrić J, Pepić I. Tear fluid-eye drops compatibility assessment using surface tension. *Drug Dev Ind Pharm.* 2017;43(2):275-82. doi: [10.1080/03639045.2016.1238924](https://doi.org/10.1080/03639045.2016.1238924)
- Račić A, Krajišnik D. Biopolymers in Mucoadhesive Eye Drops for Treatment of Dry Eye and Allergic Conditions: Application and Perspectives. *Pharmaceutics.* 2023;15(2):470. doi: [10.3390/pharmaceutics15020470](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020470)
- Ziliani S, Alekseeva A, Antonini C, Esposito E, Neggiani F, Sansò M, et al. Synthesis and Physicochemical Properties of Sulphated Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Seed Polysaccharide. *Molecules.* 2024;29(23):5510. doi: [10.3390/molecules29235510](https://doi.org/10.3390/molecules29235510)
- Taranchuk MJ. Nematic Liquid Crystal Models for the Lipid Layer of the Human Tear Film. PhD thesis. University of Delaware; 2024.
- Miller R, Fainerman V. The drop volume technique. In: *Studies in Interface Science*. Elsevier; 1998. p. 139-86. Available from: [10.1016/S1383-7303\(98\)80020-3](https://doi.org/10.1016/S1383-7303(98)80020-3)
- Mohamadkhani A. Methods of surface tension measurements. *Academia.edu.* 2014. Available from: [https://www.academia.edu/11419575/2\\_Methods\\_of\\_surface\\_tension\\_measurements](https://www.academia.edu/11419575/2_Methods_of_surface_tension_measurements)
- Pierson FW, Whitaker S. Studies of the drop-weight method for surfactant solutions. *J Colloid Interface Sci.* 1976;54(2):219-30. doi: [10.1016/0021-9797\(76\)90302-7](https://doi.org/10.1016/0021-9797(76)90302-7)
- Kloubek J. Measurement of the dynamic surface tension by the drop weighing method. *Colloid and Polymer Sci.* 1975;253:929-36. doi: [10.1007/BF01421443](https://doi.org/10.1007/BF01421443)
- Ramasami P, Rughooputh S. Accurate determination of surface tension using a Traube Stalagmometer and a low cost experimental design. *University of Mauritius Research Journal.* 2005;11:1-12. Available from: <https://www.uom.ac.mu/researchjournal/index.php/research/article/view/215>