

Ukrainian Neurosurgical Journal. 2026;32(1):3-9  
doi: 10.25305/unj.339193

## Ураження зорового аналізатора при вибуховій травмі: механізми, діагностика, лікування

О.С. Солонович<sup>1</sup>, Л.Л. Чеботарьова<sup>2</sup>, Н.В. Медведовська<sup>3</sup>, В.А. Васюта<sup>4</sup>, А.С. Солонович<sup>5</sup>, О.І. Мицак<sup>1</sup>, Є.І. Северенчук<sup>6</sup>, М.С. Кисліцька<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Відділення функціональної діагностики, Інститут нейрохірургії імені акад. А. П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Відділ нейрофізіології, Інститут нейрохірургії імені акад. А. П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

<sup>3</sup> в.о. Головного ученого секретаря апарату Президії НАМН України, Київ, Україна

<sup>4</sup> Науково-організаційний відділ, Інститут нейрохірургії імені акад. А. П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

<sup>5</sup> Консультативно-діагностичне поліклінічне відділення для дорослих, Інститут серця МОЗ України, Київ, Україна

<sup>6</sup> Консультативне поліклінічне відділення, Інститут нейрохірургії імені акад. А. П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

Надійшла до редакції 13.09.2025  
Прийнята до публікації 14.10.2025

### Адреса для листування:

Солонович Олександр Сергійович,  
Відділення функціональної  
діагностики, Інститут нейрохірургії  
імені акад. А.П. Ромоданова, вул.  
Платона Майбороди, 32, Київ,  
04050, Україна, e-mail: medsolon@  
ukr.net

Вибухова травма є однією з найскладніших проблем сучасної офтальмології та неврології, оскільки часто супроводжується тяжкими ушкодженнями органа зору. За даними різних авторів, на частку ураження очей припадає близько 28% від усіх травм, отриманих під час вибухів. Черепно-мозкові травми, які часто поєднуються з вибуховою травмою, у 84% випадків ускладнюються офтальмологічними порушеннями. Це свідчить про надзвичайну вразливість ока до вибухових чинників — ударної хвилі, термічного впливу й уламків.

Найпоширенішими є такі ушкодження, як відкрита травма ока, внутрішньоочні сторонні тіла, розриви очного яблука, відшарування сітківки, травматична оптична нейропатія. Вторинні чинники (осколки, уламки будівель, ґрунт, метал) значно підвищують ризик тяжких ускладнень — ендотельміту, посттравматичної глаукоми, неоваскуляризації сітківки, що часто призводить до інвалідизації.

Діагностика потребує комплексного підходу із застосуванням офтальмологічних (офтальмоскопія, ультразвукове дослідження, оптична когерентна томографія), нейрофізіологічних (зорові викликані потенціали, електроретинографія), нейровізуалізаційних (комп'ютерна томографія та магнітно-резонансна томографія орбіт і головного мозку) методів. Їхнє поєднання дає змогу виявити як локальні ушкодження ока, так і центральні порушення зорових шляхів.

Лікування передбачає невідкладну хірургію (ушивання розривів, видалення сторонніх тіл, вітреоретинальні втручання), профілактику інфекцій (системна та місцева антибіотикотерапія), протизапальну й імуномодулювальну терапію. Важливе значення має своєчасна профілактика симпатичної офтальмії. Для реабілітації застосовують відновлювальні та функціональні методи, спрямовані на збереження залишкового зору й адаптацію пацієнтів.

Таким чином, ураження зорового аналізатора при вибуховій травмі характеризується багатофакторністю механізмів і високим ризиком стійкої втрати зору. Оптимальна діагностика й лікування можливі лише при комплексному мультидисциплінарному підході з акцентом на раннє втручання та тривалу реабілітацію.

**Ключові слова:** вибухова травма; зоровий аналізатор; контузія зорового аналізатора; травматична оптична нейропатія; діагностика; реабілітація

### Вступ

В умовах сучасних воєнних конфліктів зростає кількість пацієнтів із вибуховими травмами (ВТ), які часто супроводжуються ураженням органа зору. З огляду на надзвичайну різноманітність, комбіновану дію та складність механізмів вибухових уражень, травма ока при вибухових пораненнях становить одну з найтяжчих і найсерйозніших проблем сучасної офтальмології та неврології [1]. Дослідження показали, що значна кількість травм зорового аналізатора, спричинених вибухами, супроводжується стійким порушенням зору або його повною втратою [2]. За даними різних авторів, на частку вибухових

поранень ока може припадати близько 28% від загальної кількості травм, спричинених дією вибухової хвилі [3, 4]. Під час операцій Enduring Freedom (OEF) й Operation Iraqi Freedom (OIF) 10–15% бойових травм були пов'язані з ураженням очей [5]. Черепно-мозкові травми (ЧМТ) часто супроводжуються ускладненнями з боку органа зору, частота яких може становити 84% [6]. Ці дані свідчать про високу вразливість зорового аналізатора до прямого й опосередкованого впливу вибухової хвилі, осколків і термічних чинників.

Вибухові речовини, які широко використовуються в сучасних війнах і терористичних атаках, часто призводять до тяжких уражень зорового аналізатора.

Copyright © 2026 О.С. Солонович, Л.Л. Чеботарьова, Н.В. Медведовська, В.А. Васюта, А.С. Солонович, О.І. Мицак, Є.І. Северенчук, М.С. Кисліцька



Робота опублікована під ліцензією Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Найтиповішими ушкодженнями при таких травмах є відкрита травма ока, наявність сторонніх тіл в оці, розриви очного яблука, а також ускладнення у вигляді відшарування сітківки та травматичної оптичної нейропатії [7].

Особливу небезпеку становлять вторинні чинники вибуху — осколки, уламки будівель, частинки ґрунту чи металу, які з великою швидкістю проникають у структури очного яблука. При цьому навіть невеликі за розміром внутрішньоочні сторонні тіла можуть спричинити серйозні ускладнення, зокрема ендодальміт, посттравматичну глаукому, неоваскуляризацію сітківки, що призводить до високої частоти інвалідизації пацієнтів [8, 9].

Питання своєчасної діагностики, хірургічної допомоги та реабілітації постраждалих із вибуховими травмами ока набувають актуальності в умовах сучасних збройних конфліктів. Рання та якісна діагностика порушень зору є критично важливою для запобігання інвалідизації пацієнтів.

#### **Механізми ушкодження зорового аналізатора при вибуховій травмі**

Очне яблуко є надзвичайно вразливою анатомічною структурою при дії вибухових чинників, що зумовлено його сферичною формою, високим вмістом рідини, багатою васкуляризацією та делікатною будовою внутрішніх тканин [10]. Відкрите анатомічне розташування та відсутність жорсткого кісткового захисту робить орган зору особливо чутливим до механічного, термічного й барометричного впливу вибухової хвилі. Навіть короткочасна дія надлишкового тиску або осколкових пошкоджень може призвести до глибоких структурних змін — від контузій до повного розриву очного яблука [11, 12].

Вибухові пристрої спричиняють чотири основні типи ВТ, які відрізняються за механізмом ураження та впливом на зоровий аналізатор [13].

Первинна ВТ виникає внаслідок дії ударної хвилі, яка спричиняє надлишковий тиск, що поширюється крізь середовища з різною щільністю. Найуразливішими є органи, що містять повітря, — легені, кишківник, барабанна перетинка [14]. Ця хвиля може спричинити контузію очного яблука, відшарування сітківки, внутрішньоочні крововиливи та травматичну оптичну нейропатію. Ударна хвиля призводить до різкого зростання внутрішньоочного тиску, створюючи ризик для структур оболонки ока. Максимальний внутрішньоочний тиск під час вибуху може досягати 0,29 МПа ( $\approx$  2175 мм рт. ст.) уже через 1,63 мс після впливу ударної хвилі, що вдвічі більше за нормальний фізіологічний тиск ( $\sim$  15 мм рт. ст.) у здорових очах [15]. Іншими важливими чинниками, що визначають характер і тяжкість вибухового ураження ока, є піковий надлишковий тиск, досягнутий під час вибуху, тривалість дії вибухової хвилі (імпульс тиску), відстань від епіцентру вибуху, кут нахилу голови, напрямок погляду в момент вибуху (чи були очі спрямовані безпосередньо на джерело ударної хвилі). Ці параметри значною мірою впливають на рівень внутрішньоочного тиску, ступінь деформації очного яблука та ймовірність пошкодження зорового нерва й сітківки [16, 17].

Вторинна ВТ є найпоширенішим механізмом поранень очей [18]. Її спричиняє пряме ураження ока

фрагментами вибухового пристрою або екзогенних уламків, які переміщуються під впливом вибухової хвилі (осколки, скло, метал, ґрунт). Ці уламки можуть призвести до відкритих проникних поранень очного яблука та розриву рогівки або склери [19]. Також можливі пошкодження поверхневих структур очного яблука (закриті поранення ока), зокрема поверхнєве стороннє тіло, ламелярні (часткові) розриви, або непроникна тупа травма та розрив очного яблука. Часто такі ураження супроводжуються комбінованими черепно-лицевими й абдомінальними травмами [20, 21]. З фізіологічного погляду, первинна вибухова хвиля досягає ока значно раніше, ніж уламки, які вона несе. Однак після досягнення очного яблука фрагментами інтенсивність і тяжкість ураження різко зростають. Таким чином, травми другого рівня є вторинними не лише за природою механізму, а й за порядком дії. Вони не існують ізольовано, а майже завжди супроводжуються первинними ушкодженнями, утворюючи комплексні та комбіновані форми травм різного ступеня тяжкості [22].

Третинна ВТ виникає, коли «вибуховий вітер» (blast wind) відкидає тіло постраждалого на тверді поверхні чи предмети [23]. Такий механізм спричиняє тупу травму: закриті ушкодження очей, переломи орбіти, компресійне ураження зорового нерва, ушкодження ококорухових нервів і м'язів. Характерними ураженнями є травми орбіти (переломи кісток), здавлення очного яблука, пошкодження зорового нерва на рівні каналу (оптична нейропатія), птоз, параліч ококорухових м'язів (через ушкодження черепних нервів) [24].

Четвертинна ВТ охоплює додаткові патофізіологічні ефекти, не пов'язані безпосередньо з вибуховою хвилею або уламками. Це може бути дія високих температур, інтенсивного світла (спалах), токсичних речовин. До таких травм належать термічні опіки повік, рогівки, кон'юнктиви й обличчя внаслідок високих температур, фотохімічні ураження сітківки («спалахова сліпота»), хімічні опіки очей під дією вибухових речовин [25, 26]. Вони також можуть супроводжуватися пошкодженням органів дихання, падінням уламків і завалів, які спричиняють черепно-лицеву травму, зокрема переломи основи черепа й ураження очниці [27].

Дослідження Ying-Ying Zou та співавт. (2013) показали, що вибухова хвиля спричиняє патологічні зміни в сітківці, що супроводжуються підвищеною експресією білків, які беруть участь у процесах запалення, набряку й апоптозу (ендотеліальний фактор росту, аквапорин-4, глутамат синтази тощо). Ці зміни виявляли одразу після впливу вибухової хвилі. Вони зберігались до 2 тиж. Найвиразнішими вони були в астроцитах і клітинах Мюллера, що свідчить про їхню важливу роль у патофізіологічних процесах, які відбуваються в сітківці внаслідок дії вибухової хвилі [28].

Особливе значення мають поєднані травми. Тісний зв'язок очних травм, спричинених вибухами, із системними ушкодженнями продемонстрований у багатьох дослідженнях. У дослідженні Erdurman і співавт. частота таких травм становила 69,0%. Weichel і співавт. повідомили про 66,0%, а Kalayci і співавт. — про 60,7% [9, 13, 20]. Найпоширенішими є щелепно-лицьові, ортопедичні та грудні ушкодження.

При струсах мозку часто мають місце зорові вияви через значну інтеграцію зорової системи в корі.

Вибухова травма часто супроводжується ЧМТ, яка може вражати вищі рівні зорового аналізатора: зоровий нерв, хіазму, зорові тракти, а також зорову кору потиличної частки головного мозку [29]. Такі ураження призводять до часткової або повної втрати зору, гомонімної геміанопсії, зорової агнозії та інших порушень зорової функції. Часто ЧМТ є наслідком дифузного аксонального пошкодження, спричиненого різкими прискореннями, уповільненнями або ротаційними рухами голови. Такі механічні впливи викликають раптове порушення функціонування нейронів із масивним вивільненням накопичених нейромедіаторів, що призводить до надмірної активації постсинаптичних мембран. Це запускає патологічний каскад, який супроводжується підвищеним енергетичним запитом, метаболічною кризою та порушенням обміну глюкози в нейронах [30, 31].

Гостра симптоматика зазвичай триває 7–10 днів і має транзиторний характер із поступовим відновленням функцій упродовж кількох тижнів. Однак у частини пацієнтів залишкові або стійкі симптоми можуть зберігатися впродовж місяців або навіть років [32]. До найпоширеніших виявів постконтузійного синдрому належать: головний біль, мігрень, порушення когнітивних функцій, зниження концентрації уваги та зменшення часу реакції. У деяких випадках такі стани можуть асоціюватися з віддаленими тривалими нейродегенеративними процесами [33].

При ушкодженні зорового аналізатора внаслідок ВТ ураження часто є двобічними. За даними літератури, біокулярні пошкодження при ВТ трапляються в 3,33–72,91% випадків, тоді як при «звичайних» причинах травм ока (побутові, спортивні, виробничі) частота двобічних уражень становить лише 0–2,13% [2, 13].

### **Діагностика**

Діагностика стану зорового аналізатора в пацієнтів, що перенесли ВТ, є складним мультидисциплінарним завданням і потребує участі не лише офтальмолога, а й нейроофтальмолога, невролога, отоларинголога, нейрофізіолога, іноді — нейрохірурга. Основними цілями є діагностика порушень з боку очей і зорового нерва, виявлення пошкоджень центральних відділів зорового аналізатора (кортикальні зони), визначення ступеня та характеру ураження (механічне, ішемічне, компресійне, контузійне, комбіноване).

Важливе значення має ретельний збір анамнезу. Обстеження має передбачати детальний аналіз обставин вибуху: відстань від епіцентру, інтенсивність впливу, тривалість експозиції, використання засобів індивідуального захисту. Варто звернути особливу увагу на втрату свідомості в анамнезі, скарги на зниження зору, диплопію, болі в очах, слъозотечу [34].

Крім того, важливо оцінити попередній офтальмологічний анамнез пацієнта й наявність супутніх системних захворювань, які можуть впливати на зорову функцію або заважати відновленню.

Під час огляду оцінюють стан повік і кон'юнктиви, наявність сторонніх тіл, гематом, крововиливів

та деформації орбіти. Незважаючи на можливу відсутність явних зовнішніх уражень очей або їхніх додатків у пацієнтів із ВТ, офтальмологічне обстеження є критично важливим. Воно має передбачати визначення гостроти зору (візометрія), тонометрію (вимірювання внутрішньоочного тиску), оцінку зіничних реакцій (зокрема відносного аферентного дефекту зіниці), аналіз екстраокулярної моторики, огляд у щілинній лампі для визначення травматичних ушкоджень рогівки, передньої камери, кришталика [35].

Cockerham і співавт. Наголошують на важливості оцінки не лише гостроти зору за висококонтрастними таблицями, а й просторової контрастної чутливості та полів зору [36]. Ураження сітківки або центральної нервової системи можуть не знижувати стандартну гостроту зору, але супроводжуватися аномаліями в полях зору, контрастній чутливості або кольоровідчутті [34].

Периметрія – це метод дослідження та оцінки поля зору, тобто простору, який людина бачить при нерухомому оці й фіксованій голові. Це ключовий тест для діагностики глаукоми, а також для оцінки стану зорового нерва та сітківки [37]. Основними типами периметрії є кінетична периметрія, де використовується рухомий світловий стимул, і статична периметрія, коли спалахують стаціонарні вогні різної інтенсивності. Стандартна автоматизована периметрія (SAP) нині є найпоширенішим методом, що використовує автоматизоване статичне тестування для більш стандартизованих і відтворюваних результатів [38].

Візуалізаційні дослідження можуть бути корисними для уточнення характеру й обсягу ураження. Комп'ютерна томографія (КТ) і магнітно-резонансна томографія (МРТ) орбіти візуалізують зоровий нерв, зоровий канал та оцінюють наявність переломів, кісткових фрагментів або гематоми оболонки зорового нерва [39].

Методи візуалізації, такі як офтальмоскопія та оптична когерентна томографія (ОКТ), можуть виявити мінімальні, але клінічно значущі зміни — набряк диска зорового нерва або стоншення шару нервових волокон сітківки, наявність геморагій, розривів, відшарування тощо [40].

Оптична когерентна томографія – це сучасний неінвазивний метод діагностики захворювань очей, який використовує властивості когерентного світла для отримання високоточних тривимірних зображень внутрішніх структур ока, таких як сітківка, зоровий нерв і рогівка. Цей метод дає змогу виявити такі патології, як дистрофічні процеси, глаукома, захворювання зорового нерва, найдрібніші зміни в тканинах ока, що робить його універсальним інструментом в офтальмології [41].

Робота оптичного когерентного томографа побудована на принципі світлової інтерферометрії. Інтерференція світла – це просторовий перерозподіл енергії світлового випромінювання при накладанні двох або кількох світлових хвиль.

На томограмі шари сітківки диференціюються відповідно до їхньої світловідбивної здатності. Для побудови підсумкового зображення використовується стандартна колірна шкала: структури з високою відбивною здатністю відображаються в червоних

і білих відтінках, а слабо відбивні структури – у темних кольорах (чорний, синій, темно-зелений) [42, 43].

Товщину сітківки визначають як відстань від внутрішньої поверхні сітківки до рівня пігментного епітелію сітківки. Однак є важливий методологічний нюанс: в одних приладах вимірювання проводиться до внутрішньої межі пігментного епітелію сітківки, в інших — до зовнішньої. Тому результати можуть відрізнятися, що ускладнює порівняння товщини сітківки, отриманої на різних ОКТ-системах [44].

Для отримання томографічного зображення диска зорового нерва використовується поздовжнє та циркулярне лінійне сканування. Оптична когерентна томографія дає змогу оцінити діаметр диска, розміри та глибину екскавації, співвідношення екскавації та диска по площі, горизонтальному та вертикальному меридіанах, а також товщину шару нервових волокон у перипапільярній зоні [45].

Важливим аспектом роботи оптичних когерентних томографів є використання інфрачервоного променя із середньою довжиною хвилі 830 нм, що дає змогу отримати пошарові зрізи сітківки, кількісно оцінити її товщину, а також розміри та поширення патологічних змін [43].

Функціональна магнітно-резонансна томографія (fMRT) – це метод нейровізуалізації, який дає

змогу оцінити функціональну активність головного мозку за змінами кровотоку (BOLD-сигнал, blood oxygen level-dependent). При дослідженні зорового аналізатора fMRT використовують для картування зорової кори, аналізу функціональної організації та нейропластичності після травматичних уражень, а також для вивчення реакцій мозку на зорові стимули [46]. Цей метод є особливо цінним у комплексній діагностиці, оскільки доповнює структурні нейровізуалізаційні дані та дає змогу встановити взаємозв'язок між морфологічними змінами й функціональною активністю [47].

Окрім клініко-офтальмологічного обстеження та методів нейровізуалізації, у діагностиці уражень зорового аналізатора застосовують також нейрофізіологічні методи. Найбільш поширеними з них є зорові викликані потенціали (ЗВП), які дають змогу об'єктивно оцінити провідність зорових сигналів по зорових шляхах від сітківки до кори головного мозку; ретинографія, яку використовують для аналізу функціонального стану сітківки та її електрофізіологічної активності [48]. Ці методи мають значний потенціал для комплексної діагностики та моніторингу пацієнтів, і будуть розглянуті детальніше в наступних публікаціях.

Основні методи діагностики ураження зорового аналізатора при ВТ наведено в **Табл. 1**.

**Таблиця 1.** Інструментальні методи діагностики уражень зорового аналізатора при вибуховій травмі

Метод	Рівень ураження, який оцінюють	Типові знахідки при ВТ
Офтальмоскопія	Сітківка, диск зорового нерва	Крововиливи, відшарування сітківки, вторинна атрофія зорового нерва
ОКТ	Шар нервових волокон сітківки, гангліонарні клітини	Стоншення шару нервових волокон сітківки, ознаки атрофії нерва
Периметрія	Функція провідних шляхів від сітківки до кори	Скотоми, дефекти полів зору (асиметричні, незавжди класичної топографії)
ЕРГ	Функція фоторецепторів і внутрішніх шарів сітківки	Зниження амплітуд або локальні дефекти відповіді при контузійній ретинопатії
ЗВП (класичні)	Провідність від сітківки до кори (зоровий нерв, хіазма, тракти)	Зниження амплітуди P100, подовження латентності, асиметрія між півкулями, відсутність відповіді при грубому ушкодженні
mfЗВП	Локальна оцінка провідності в межах різних секторів зорового поля	Вогнищеві дефекти, що відповідають локальному пошкодженню нервових волокон (часткове ураження нерва, хіазми, тракту)
КТ/МРТ орбіт і головного мозку	Орбіта, зорові нерви, хіазма, тракти, потилична кора	Переломи орбіти, гематоми, компресія або розрив зорового нерва, дифузне аксональне ушкодження
fMRT	Кора потиличних часток	Зниження або відсутність активації в зоні первинної зорової кори при стимуляції ураженого ока

*Примітка.* ЕРГ – електроретинографія; mfЗВП – мультифокальні зорові викликані потенціали.

### **Терапевтичні підходи та реабілітація**

Лікування травми зорового аналізатора часто є складним і тривалим процесом. Залежно від характеру травми такі пацієнти потребують різних методів лікування (консервативне, медикаментозне, хірургічне або їхня комбінація). Первинна допомога полягає в накладанні стерильної пов'язки та якнайшвидшому транспортуванні пацієнта до медичного закладу. Часто є потреба в госпіталізації з численними оперативними втручаннями для підтримки цілісності ока та відновлення зорової функції. Відповідні хірургічні методики обирають індивідуально залежно від клінічної ситуації [49]. На першому етапі найчастішими втручаннями є репарації очного яблука, енуклеації з імплантацією штучного ока, видалення внутрішньоочних та орбітальних сторонніх тіл. Другий етап (планові операції) може передбачати енуклеацію та реконструкцію орбіт, вітректомію pars plana, зокрема потенційне використання силіконової олії для збереження форми ока та нормального внутрішньоочного тиску [50, 51]. Після хірургічного втручання в осіб зі значним фіброзом сітківки або рубцюванням може зрости ризик тракційного відшарування сітківки або виникнути труднощі з досягненням адгезії сітківки, що потребує збереження силіконової олії в оці.

Проліферативна вітреоретинопатія – це процес внутрішньоочного рубцювання, який характеризується ростом і скороченням клітинних мембран у вітреальній порожнині, на обох сторонах поверхні сітківки, а також внутрішньосітківковим фіброзом [52, 53]. Зазвичай вона виникає після розривів сітківки, унаслідок чого клітини пігментного епітелію сітківки потрапляють у вітреальний простір. Немає фармакологічних методів, які запобігають або модулюють розвиток проліферативної вітреоретинопатії. Єдиним ефективним лікуванням є вітректомія. Однак немає консенсусу щодо того, які пацієнти потребують вітректомії та як швидко її слід виконувати [54, 55].

Крім того, багато пацієнтів потребують окулопластичної, рогівкової та глаукомної хірургії, невелика частина – консультації спеціаліста з увеїту, що свідчить про важливість мультидисциплінарного підходу.

Одним із найбільш небажаних ускладнень є симпатична офтальмія – гранулематозний автоімунний увеїт, що трапляється в 0,06–0,19% випадків і може призвести до втрати зору на іншому оці [56]. Історично вважалося, що сильно ушкоджені очі слід видаляти протягом 2 тиж після травми для профілактики симпатичної офтальмії, але ні терміни, ні ефективність такої практики не підтверджені доказами. Своєчасно призначене лікування кортикостероїдами або імуносупресантами (циклоспорин, азатіоприн) при симпатичній офтальмії може суттєво поліпшити результати лікування [57].

Отже, наявні дані підтверджують, що навіть при тяжких травмах відкритого ока слід прагнути зберегти та відновити його, якщо це клінічно можливо.

Ендофтальміт посідає друге місце після травми відкритого ока, вражає близько 16,5% пацієнтів. Системна антибіотикопрофілактика в цьому випадку має обмежену доказову ефективність, тоді як інтравітреальні ін'єкції використовуються рідше, але мають більшу доказовість [58, 59].

### **Прогноз**

Прогноз при вибухових ураженнях зорового аналізатора залишається варіабельним і залежить від низки чинників: тяжкості первинного ураження, залучення в патологічний процес зорового нерва, своєчасності й ефективності терапевтичних втручань, індивідуальних компенсаторних можливостей пацієнта та реакції на лікування. У частини хворих можливе суттєве відновлення зорових функцій, тоді як в інших мають місце стійкі й інвалідизуючі порушення зору. Важливо враховувати, що прогноз значно поліпшується за умови ранньої діагностики та початку лікування в перші години–дні після травми.

### **Висновки**

Бойова ВТ є провідною причиною комбінованих ушкоджень зорового аналізатора. Патофізіологічні механізми такої травми складні та багатофакторні, а відсутність видимих пошкоджень очей не виключає ураження. Оцінка стану зорового аналізатора в пацієнтів після ВТ потребує комплексного підходу, зокрема дослідження як структурних, так і функціональних характеристик ока та зорових шляхів. Вибухова травма може призвести до безпосереднього механічного ушкодження ока, а також до вторинних змін, зумовлених дією ударної хвилі, впливом високих температур, інфрачервоного випромінювання, токсичних речовин тощо.

Обстеження таких пацієнтів має бути всебічним та мультидисциплінарним і передбачати участь офтальмолога, невролога, нейрохірурга, за потреби – пластичного хірурга. Ретельний збір анамнезу вибухової події, якщо це можливо, визначає первинну стратифікацію ризику й дає змогу обрати оптимальні діагностичні інструменти. Вибухові травми очей можуть виявлятися широким спектром симптомів – від мінімального дискомфорту до сильного болю або втрати зору.

Базове офтальмологічне обстеження (візометрія, тонометрія, реакції зіниць, огляд у щілинній лампі, оцінка окоорухової функції, периметрія) є обов'язковим навіть за відсутності явних зовнішніх ушкоджень. Важливо проводити не лише первинну, а й динамічну оцінку, оскільки низка патологічних змін (наприклад, атрофія зорового нерва) можуть виявитися у віддалений період.

Нейровізуалізаційні та нейрофізіологічні методи відіграють важливу роль у комплексній діагностиці й моніторингу пацієнтів із ураженнями зорового аналізатора. Вони дають змогу не лише уточнити локалізацію та характер структурних пошкоджень, а й об'єктивно оцінити функціональний стан зорових шляхів і сітківки, що має ключове значення для визначення прогнозу та вибору тактики лікування.

Для поліпшення довгострокового прогнозу необхідне проведення регулярного офтальмологічного та нейрофізіологічного моніторингу, активне залучення пацієнта до програм зорової реабілітації та навчання компенсаторним стратегіям, а також використання мультидисциплінарного підходу. Навіть у випадках із несприятливим функціональним відновленням комплексна підтримка й реабілітація можуть істотно поліпшити якість життя пацієнта.

### **Розкриття інформації**

*Конфлікт інтересів*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

#### Список літератури

- Красновид ТА, Асланова ВС, Бондар НІ. Основні аспекти травматичних пошкоджень очей в умовах війн та військових конфліктів. Архів офтальмології України. 2020;8(1):78-85. doi: 10.22141/2309-8147.8.1.2020.200741
- Zhang Y, Kang X, Wu Q, Zheng Z, Ying J, Zhang MN. Explosive eye injuries: characteristics, traumatic mechanisms, and prognostic factors for poor visual outcomes. *Mil Med Res.* 2023 Jan 12;10(1):3. doi: 10.1186/s40779-022-00438-4
- Morley MG, Nguyen JK, Heier JS, Shingleton BJ, Pasternak JF, Bower KS. Blast eye injuries: a review for first responders. *Disaster Med Public Health Prep.* 2010 Jun;4(2):154-60. doi: 10.1001/dmp.v4n2.hra10003
- McMaster D, Clare G. Incidence of ocular blast injuries in modern conflict. *Eye (Lond).* 2021 Dec;35(12):3451-3452. doi: 10.1038/s41433-020-01359-z
- Harvey MM, Justin GA, Brooks DI, Ryan DS, Weichel ED, Colyer MH. Ocular Trauma in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom from 2001 to 2011: A Bayesian Network Analysis. *Ophthalmic Epidemiol.* 2021 Aug;28(4):312-321. doi: 10.1080/09286586.2020.1828494
- Rauchman SH, Albert J, Pinkhasov A, Reiss AB. Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury: A Review with Focus on the Visual System. *Neurol Int.* 2022 May 30;14(2):453-470. doi: 10.3390/neurolint14020038
- Sukkarieh G, Lahoud C, Ghorayeb R, Abi Karam M, Succarieh Y, Saleh M, Jalkh A. Characteristics of open eye injuries in the Beirut Port explosion. *Injury.* 2021 Sep;52(9):2601-2605. doi: 10.1016/j.injury.2021.07.031
- Notghi B, Bhardwaj R, Bailoor S, Thompson KA, Weaver AA, Stitzel JD, Nguyen TD. Biomechanical Evaluations of Ocular Injury Risk for Blast Loading. *J Biomech Eng.* 2017 Aug 1;139(8). doi: 10.1115/1.4037072
- Erdurman FC, Hurmeric V, Gokce G, Durukan AH, Sobaci G, Altinsoy HI. Ocular injuries from improvised explosive devices. *Eye (Lond).* 2011 Nov;25(11):1491-8. doi: 10.1038/eye.2011.212
- Alam M, Iqbal M, Khan A, Khan SA. Ocular injuries in blast victims. *J Pak Med Assoc.* 2012 Feb;62(2):138-42.
- Karimi A, Razaghi R, Girkin CA, Downs JC. Ocular biomechanics due to ground blast reinforcement. *Comput Methods Programs Biomed.* 2021 Nov;211:106425. doi: 10.1016/j.cmpb.2021.106425
- Гончарова НА, Ковтун МІ, Пастух ІВ, Павлюченко ОС, Мужичук ОП. Пошкодження зорового аналізатора у військовослужбовців зі струсом мозку (клінічні випадки). МЕДИЦИНА НЕВІДКЛАДНОЇ ДОПОМОГИ. 2024; 20 (4): 288–298. doi: 10.22141/2224-0586.20.4.2024.1717
- Kalayci M, Er S, Tahtabasi M. Bomb Explosion: Ocular Effects of Primary, Secondary and Tertiary Mechanisms. *Clin Ophthalmol.* 2020 Apr 28;14:1145-1151. doi: 10.2147/OPHT.S253438
- Rex TS, Reilly MA, Sponsel WE. Elucidating the effects of primary blast on the eye. *Clin Exp Ophthalmol.* 2015 Apr;43(3):197-9. doi: 10.1111/ceo.12502
- Razaghi R, Biglari H, Karimi A. Finite element modeling of the eyeglass-related traumatic ocular injuries due to high explosive detonation. *Eng Fail Anal.* 2020;117:104835. doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104835
- Sherwood D, Sponsel WE, Lund BJ, Gray W, Watson R, Groth SL, Thoe K, Glickman RD, Reilly MA. Anatomical manifestations of primary blast ocular trauma observed in a postmortem porcine model. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014 Feb 24;55(2):1124-32. doi: 10.1167/iovs.13-13295
- Monsour M, Ebedes D, Borlongan CV. A review of the pathology and treatment of TBI and PTSD. *Exp Neurol.* 2022;351:114009. doi: 10.1016/j.expneurol.2022.114009
- Justin GA, Baker KM, Brooks DI, Ryan DS, Weichel ED, Colyer MH. Intraocular Foreign Body Trauma in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom: 2001 to 2011. *Ophthalmology.* 2018 Nov;125(11):1675-1682. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.06.006
- Gundogan FC, Akay F, Yolcu U, Uzun S, Ilhan A, Toyran S, Eyi E, Diner O. Ocular blast injuries related to explosive military ammunition. *J R Army Med Corps.* 2016 Feb;162(1):39-43. doi: 10.1136/jramc-2015-000408
- Weichel ED, Colyer MH. Combat ocular trauma and systemic injury. *Curr Opin Ophthalmol.* 2008 Nov;19(6):519-25. doi: 10.1097/ICU.0b013e3283140e98
- Kulkarni AR, Aggarwal SP, Kulkarni RR, Deshpande MD, Walimbe PB, Labhsetwar AS. Ocular manifestations of head injury: a clinical study. *Eye (Lond).* 2005 Dec;19(12):1257-63. doi: 10.1038/sj.eye.6701753
- Hassan Naqvi SA, Malik S, Zulfikaruddin S, Anwar SB, Nayyar S. Etiology and severity of various forms of ocular war injuries in patients presenting at an Army Hospital in Pakistan. *Pak J Med Sci.* 2016 Nov-Dec;32(6):1543-1546. doi: 10.12669/pjms.326.11158
- Belmonte-Grau M, Garrido-Ceca G, Marticorena-Álvarez P. Ocular trauma in an urban Spanish population: epidemiology and visual outcome. *Int J Ophthalmol.* 2021 Sep 18;14(9):1327-1333. doi: 10.18240/ijo.2021.09.06
- Rasiah PK, Hardenburger J, Dong H, Hardin R, Locke A, Jenkens JL, Artis E, Caskey C, Millis B, Jansen ED, Rex TS, Mahadevan-Jansen A. Subcellular and macrostructural immediate responders to airblast traumatic brain injury. *Sci Rep.* 2025 Aug 4;15(1):28454. doi: 10.1038/s41598-025-13288-6
- Kheir WJ, Awwad ST, Bou Ghannam A, Khalil AA, Ibrahim P, Rachid E, El Salloukh NA, Yehia M, Torbey J, El Zein L, Jabbur NS, Nouredin B, Alameddine RM. Ophthalmic Injuries After the Port of Beirut Blast-One of Largest Nonnuclear Explosions in History. *JAMA Ophthalmol.* 2021 Sep 1;139(9):937-943. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2021.2742
- Lee I, Davis B, Purt B, DesRosiers T. Ocular Trauma and Traumatic Brain Injury on the Battlefield: A Systematic Review After 20 Years of Fighting the Global War on Terror. *Mil Med.* 2023 Aug 29;188(9-10):2916-2923. doi: 10.1093/milmed/usac226
- Rana V, Patra VK, Bandopadhyay S, Raj B, Sharma VK, Gupta A, Mishra SK, Kumar P. Combat ocular trauma in counterinsurgency operations. *Indian J Ophthalmol.* 2023 Dec 1;71(12):3615-3619. doi: 10.4103/IJO.IJO\_609\_23
- Zou YY, Kan EM, Lu J, Ng KC, Tan MH, Yao L, Ling EA. Primary blast injury-induced lesions in the retina of adult rats. *J Neuroinflammation.* 2013 Jul 2;10:79. doi: 10.1186/1742-2094-10-79
- Taran S, Pelosi P, Robba C. Optimizing oxygen delivery to the injured brain. *Curr Opin Crit Care.* 2022 Apr 1;28(2):145-156. doi: 10.1097/MCC.0000000000000913
- Armstrong RA. Visual problems associated with traumatic brain injury. *Clin Exp Optom.* 2018 Nov;101(6):716-726. doi: 10.1111/cxo.12670
- Alvarez TL, Kim EH, Vicci VR, Dhar SK, Biswal BB, Barrett AM. Concurrent vision dysfunctions in convergence insufficiency with traumatic brain injury. *Optom Vis Sci.* 2012 Dec;89(12):1740-51. doi: 10.1097/OPX.0b013e318272dce
- Bailey MD, Gambert S, Gruber-Baldini A, Guralnik J, Kozar R, Qato DM, Shardell M, Albrecht JS. Traumatic Brain Injury and Risk of Long-Term Nursing Home Entry among Older Adults: An Analysis of Medicare Administrative Claims Data. *J Neurotrauma.* 2023 Jan;40(1-2):86-93. doi: 10.1089/neu.2022.0003
- Dwyer B, Katz DI. Postconcussion syndrome. *Handb Clin Neurol.* 2018;158:163-178. doi: 10.1016/B978-0-444-63954-7.00017-3
- Pattnaik S, Panda BB, Swain SC. Spectrum of Ocular Findings in Closed Head Injuries, Correlation With Severity of Neurological Involvement, and Treatment Outcome: A Hospital-Based Cross-Sectional Study. *Cureus.* 2021 Jul 20;13(7):e16515. doi: 10.7759/cureus.16515
- Adhan IK, Gunton KB. Optimal Diagnostic Strategies for Concussion-Related Vision Disorders: A Review. *Eye Brain.* 2025 May 12;17:27-36. doi: 10.2147/EB.S492854
- Cockerham GC, Goodrich GL, Weichel ED, Orcutt JC, Rizzo JF, Bower KS, Schuchard RA. Eye and visual function in traumatic brain injury. *J Rehabil Res Dev.* 2009;46(6):811-8. doi: 10.1682/jrrd.2008.08.0109

37. Ruia S, Tripathy K. Humphrey Visual Field. 2025 Jan 20. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-.
38. Rai BB, Sabeti F, Carle CF, Maddess T. Visual Field Tests: A Narrative Review of Different Perimetric Methods. *J Clin Med*. 2024 Apr 23;13(9):2458. doi: 10.3390/jcm13092458
39. Chaudhary R, Upendran M, Campion N, Yeung A, Blanch R, Morgan-Warren P, Gibb I, Nelson T, Scott R. The role of computerised tomography in predicting visual outcome in ocular trauma patients. *Eye (Lond)*. 2015 Jul;29(7):867-71. doi: 10.1038/eye.2015.39
40. Costello F. Optical Coherence Tomography in Neuro-ophthalmology. *Neurol Clin*. 2017 Feb;35(1):153-163. doi: 10.1016/j.ncl.2016.08.012
41. Zeppieri M, Marsili S, Enaholo ES, Shuaibu AO, Uwagboe N, Salati C, Spadea L, Musa M. Optical Coherence Tomography (OCT): A Brief Look at the Uses and Technological Evolution of Ophthalmology. *Medicina (Kaunas)*. 2023 Dec 3;59(12):2114. doi: 10.3390/medicina59122114
42. Ko TH, Fujimoto JG, Duker JS, Paunescu LA, Drexler W, Bauml CR, Puliafito CA, Reichel E, Rogers AH, Schuman JS. Comparison of ultrahigh- and standard-resolution optical coherence tomography for imaging macular hole pathology and repair. *Ophthalmology*. 2004 Nov;111(11):2033-43. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.05.021
43. Al-Mujaini A, Wali UK, Azeem S. Optical coherence tomography: clinical applications in medical practice. *Oman Med J*. 2013 Mar;28(2):86-91. doi: 10.5001/omj.2013.24
44. Nam KT, Yun C, Seo M, Ahn S, Oh J. Comparison of retinal thickness measurements among four different optical coherence tomography devices. *Sci Rep*. 2024 Feb 12;14(1):3560. doi: 10.1038/s41598-024-54109-6
45. Wollstein G, Ishikawa H, Wang J, Beaton SA, Schuman JS. Optical coherence tomography longitudinal evaluation of retinal nerve fiber layer thickness in glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 2005 Apr;123(4):464-70. doi:10.1001/archophth.123.4.464
46. Arruabarrena C, Montejano-Milner R, de Aragón F, Allendes G, Teus MA. Resultados del tratamiento de los pacientes con DMAE exudativa durante la pandemia por COVID-19 [Results of the treatment of patients with exudative AMD during the COVID-19 pandemic]. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2022 Apr;97(4):184-190. Spanish. doi: 10.1016/j.oftal.2021.02.012
47. Sujanthan S, Shmuel A, Mendola JD. Resting-state functional MRI of the visual system for characterization of optic neuropathy. *Front Hum Neurosci*. 2022 Oct 18;16:943618. doi: 10.3389/fnhum.2022.943618
48. Mahroo OA. Visual electrophysiology and "the potential of the potentials". *Eye (Lond)*. 2023 Aug;37(12):2399-2408. doi: 10.1038/s41433-023-02491-2
49. Liu Y, Feng K, Jiang H, Hu F, Gao J, Zhang W, Zhang W, Huang B, Brant R, Zhang C, Yan H. Characteristics and treatments of ocular blast injury in Tianjin explosion in China. *BMC Ophthalmol*. 2020 May 6;20(1):185. doi: 10.1186/s12886-020-01448-3
50. Lytvynchuk LM, Ponomarov M, Reyna EC, Stieger K, Andrassi-Darida M. Multi-Stage Reconstructive Surgery of the Eyeball with No Light Perception After Severe Open Globe Injury. *Clin Ophthalmol*. 2025;19:847-856. doi:10.2147/OPTH.S474942
51. Aylward GW. Vitreous management in penetrating trauma: primary repair and secondary intervention. *Eye (Lond)*. 2008 Oct;22(10):1366-1369. doi:10.1038/eye.2008.74
52. Jin Y, Chen H, Xu X, Hu Y, Wang C, Ma Z. TRAUMATIC PROLIFERATIVE VITREORETINOPATHY: Clinical and Histopathological Observations. *Retina*. 2017 Jul;37(7):1236-1245. doi: 10.1097/IAE.0000000000001350
53. Orban M, Schranz PJ, Opegard N, Kruse F, Ulbig M, Hansen LL. Timing and outcomes of vitreoretinal surgery after open-globe injury. *Eye (Lond)*. 2016;30(1):101-8. doi:10.1038/eye.2015.170
54. McMaster D, Halliday S, Hussain SF, Kempapadis T, Bush LS, Colyer M, McClellan SF, Miller S, Justin G, Agrawal R, Hoskin AK, Cavuoto K, Leong J, Rousselot Ascarza AM, Woreta FA, Cason J, Miller K, Caldwell MC, Gensheimer W, Williamson TH, Dhawahir-Scala F, Shah P, Coombes A, Sundar G, Mazzoli R, Woodcock M, Watson SL, Kuhn F, Gomes RSM, Blanch RJ. Early versus delayed timing of vitrectomy after open-globe injury. *Cochrane Database Syst Rev*. 2024 Nov 29;11(11):CD016086. doi: 10.1002/14651858.CD016086
55. Yu H, Li J, Yu Y, Li G, Li D, Guan M, Lu L, Liu T, Luo Y, Shen L, Wu Q, Liu B, Feng S, Yuan L. Optimal timing of vitrectomy for severe mechanical ocular trauma: A retrospective observational study. *Sci Rep*. 2019 Nov 29;9(1):18016. doi: 10.1038/s41598-019-54472-9
56. Patterson TJ, Kedzierski A, McKinney D, Ritson J, McLean C, Gu W, Colyer M, McClellan SF, Miller SC, Justin GA, Hoskin AK, Cavuoto K, Leong J, Rousselot Ascarza A, Woreta FA, Miller KE, Caldwell MC, Gensheimer WG, Williamson T, Dhawahir-Scala F, Shah P, Coombes A, Sundar G, Mazzoli RA, Woodcock M, Watson SL, Kuhn F, Halliday S, Gomes RSM, Agrawal R, Blanch RJ. The Risk of Sympathetic Ophthalmia Associated with Open-Globe Injury Management Strategies: A Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2024 May;131(5):557-567. doi: 10.1016/j.ophtha.2023.12.006
57. Paulbuddhe V, Addya S, Gurnani B, Singh D, Tripathy K, Chawla R. Sympathetic Ophthalmia: Where Do We Currently Stand on Treatment Strategies? *Clin Ophthalmol*. 2021 Oct 20;15:4201-4218. doi: 10.2147/OPTH.S289688
58. Blanch RJ, McMaster D, Patterson TJ. Management of open globe injury: a narrative review. *Eye (Lond)*. 2024 Nov;38(16):3047-3051. doi: 10.1038/s41433-024-03246-3
59. Van Swol JM, Myers WK, Beall JA, Atteya MM, Blice JP. Post-traumatic endophthalmitis prophylaxis: a systematic review and meta-analysis. *J Ophthalmic Inflamm Infect*. 2022 Nov 18;12(1):39. doi: 10.1186/s12348-022-00317-y