

DISPOZITIVE ACTUALE
DE DRENAJ PENTRU GLAUCOM:
PROVOCĂRI BIOLOGICE
ȘI CONCEPTE DE PROIECTARE

Maria IACUBITCHII, Eugeniu BENDELIC

Catedra de oftalmologie,
IP USMF "Nicolae Testemițanu",
Chișinău, Republica Moldova, contact@usmf.md

[https://doi.org/10.52556/2587-3873.2026.1\(106\).05](https://doi.org/10.52556/2587-3873.2026.1(106).05)

Rezumat

Tratamentul glaucomului are drept scop menținerea funcției vizuale și a calității vieții pacienților, prin prevenirea progresiei neuropatiei optice glaucomatoase și minimizarea efectelor adverse asociate. Acest lucru este realizat prin menținerea unui nivel adecvat al presiunii intraoculare, stabilizarea stratului de fibre nervoase retiniene și prevenirea degradării câmpului vizual. Opțiunile terapeutice disponibile pentru pacienții cu glaucom cu unghi deschis includ: medicație, trabeculoplastie laser și chirurgia incizională a glaucomului. O componentă esențială a tratamentului chirurgical al glaucomului o reprezintă utilizarea dispozitivelor de drenaj. Microșunturile subconjunctivale, dispozitivele de restaurare a canalului lui Schlemm, sistemele de drenaj supracoroidale și implanturile convenționale pe bază de placă au fost toate dezvoltate ca urmare a progreselor majore înregistrate în proiectarea implanturilor. A fost efectuată o revizuire sistematică a literaturii de specialitate privind cercetările publicate între 2015 și 2025. Analiza arată că, deși diferite tipuri de implanturi utilizează căi diferite de drenaj al umorii apoase, factorul cheie care influențează eficacitatea pe termen lung este în continuare de natură biologică. În clasificarea conceptuală a fost inclus și șuntul antiglaucomatos cu supapă dezvoltat la Catedra de oftalmologie a USMF „Nicolae Testemițanu”, care poate fi considerat un dispozitiv de drenaj cu reglare parțială a fluxului la nivelul implantului prin intermediul unui mecanism integrat de supapă. Șuntul propus reprezintă o încercare conceptuală de a transfera parțial reglarea rezistenței de la încapsularea biologică la controlul fluxului la nivelul implantului. Deși această metodă pare promițătoare din punct de vedere teoretic, este nevoie de mai multe studii experimentale și clinice pentru a stabili dacă este sigură și eficientă pe termen lung.

Cuvinte-cheie: glaucom, dispozitive de drenaj pentru chirurgia glaucomului, fibroză, biomaterial, microșunt, chirurgie minim invazivă

Summary

Current drainage devices for glaucoma: biological challenges and design concepts

The goal of glaucoma treatment is to preserve patients' vision and quality of life by preventing the progression of glaucomatous optic neuropathy and minimizing associated adverse effects. This is achieved by maintaining an appropriate level of intraocular pressure, stabilizing the retinal nerve fiber layer, and preventing visual field loss. Treatment options available for patients with open-angle glaucoma include: medication, laser trabeculoplasty, and incisional glaucoma surgery. An essential component of surgical treatment for glaucoma is the use of drainage devices. Subconjunctival micro-shunts, Schlemm's canal restoration devices, suprachoroidal drainage systems, and conventional plate-based implants have all been developed as a result of major advances in implant design. A systematic review of the literature was conducted on studies published between 2015 and 2025. The analysis shows that, although different types of implants use different aqueous hu-

mor drainage pathways, the key factor influencing long-term efficacy remains biological in nature. The conceptual classification also includes the valve-equipped antiglaucomatous shunt developed at the Department of Ophthalmology of "Nicolae Testemițanu" SUMPh, which can be considered a drainage device with partial flow regulation at the implant level via an integrated valve mechanism. The proposed shunt represents a conceptual attempt to partially transfer resistance regulation from the biological capsule to flow control at the implant level. Although this approach appears promising from a theoretical perspective, further experimental and clinical studies are required to evaluate its long-term safety and efficacy.

Keywords: glaucoma, drainage devices for glaucoma surgery, fibrosis, biomaterial, micro-shunt, minimally invasive surgery

Резюме

Современные дренажные устройства для лечения глаукомы: биологические проблемы и концепции проектирования

Лечение глаукомы направлено на сохранение зрения и качества жизни пациентов путем предотвращения прогрессирования глаукомной оптической нейропатии и минимизации связанных с ней побочных эффектов. Это достигается за счет поддержания адекватного уровня внутриглазного давления, стабилизации слоя нервных волокон сетчатки и предотвращения ухудшения поля зрения. Варианты лечения, доступные для пациентов с открытоугольной глаукомой, включают: медикаментозную терапию, лазерную трабекулопластику и инцизионную хирургию глаукомы. Важной составляющей хирургического лечения глаукомы является использование дренажных устройств. Субконъюнктивальные микрошунты, устройства для восстановления канала Шлемма, супрахориоидальные дренажные системы и традиционные пластинчатые имплантаты были разработаны благодаря значительным достижениям в области проектирования имплантатов. Был проведен систематический обзор специализированной литературы по исследованиям, опубликованным в период с 2015 по 2025 год. Анализ показывает, что, хотя различные типы имплантатов используют разные пути дренажа водянистой влаги, ключевым фактором, влияющим на долгосрочную эффективность, по-прежнему является биологический фактор. В концептуальную классификацию был включен также антиглаукомный шунт с клапаном, разработанный на кафедре офтальмологии ГУМФ им. Николая Тестемицану, который можно рассматривать как дренажное устройство с частичной регулировкой потока на уровне имплантата посредством встроенного клапанного механизма. Предлагаемый шунт представляет собой концептуальную попытку частично перенести регулирование сопротивления с биологической капсулы на контроль потока на уровне имплантата. Хотя этот метод кажется многообе-

щающим с теоретической точки зрения, необходимы дополнительные экспериментальные и клинические исследования, чтобы установить его безопасность и эффективность в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: глаукома, дренажные устройства для хирургии глаукомы, фиброз, биоматериал, микрошунт, малоинвазивная хирургия

Introducere

Glaucomul este o neuropatie optică progresivă și rămâne una dintre principalele cauze ale orbirii ireversibile, revenindu-i locul doi la nivel mondial [1 - 3]. Prevalența globală a acestei patologii la adulții cu vârsta cuprinsă între 40 și 80 ani este de 3,54%, ceea ce reprezintă aproximativ 64,3 milioane de persoane afectate în 2013, crescând la 76,0 milioane în 2020 și estimându-se că va ajunge la 111,8 milioane până în 2040, fapt cauzat de schimbările demografice și de îmbătrânire a populației [4]. În plus, în 2020, la nivel mondial erau aproximativ 3,61 milioane de persoane oarbe din cauza neuropatiei optice glaucomatoase, ceea ce accentuează și mai mult această problemă pentru sănătatea publică [5].

În ciuda progreselor înregistrate în farmacoterapie și procedurile cu laser, mulți pacienți nu reușesc să obțină un control permanent al presiunii intraoculare (PIO), în special în cazurile refractare. Când terapiile medicale și laser sunt insuficiente, PIO crescută este factorul de risc modificabil pentru progresia glaucomului, iar intervenția chirurgicală rămâne a fi necesară [6]. Intervențiile tradiționale, precum trabeculectomia, sunt limitate de cicatrici și au rezultate variabile pe termen lung, deși sunt eficiente în funcție de tehnica utilizată [7]. Aceste limitări au determinat dezvoltarea și utilizarea crescută a dispozitivelor de drenaj pentru chirurgia glaucomului (DDG) care oferă căi alternative de scurgere a umorii apoase (UA). Spectrul DDG s-a extins pentru a include implanturi cu plăci mari utilizate în mod tradițional pentru glaucomul refractar și dispozitive microșunt introduse prin abordări minim invazive. Dispozitivele clasice fără supapă asigură o reducere eficientă a PIO prin plăci cu suprafața mare care facilitează formarea de pernuțe de filtrare, însă acestea sunt frecvent asociate cu hipotonie precoce [8], cu excepția cazurilor în care se aplică restricționarea fluxului intraoperator. Dispozitive cu supapă care au în componența sa un mecanism sensibil la presiune destinat să reducă hipotonia postoperatorie, nu sunt lipsite de complicații precum: încapsularea, expunerea tubului sau a valvei, decompensare endotelială corneană și eșecul pe termen lung [9]. Mai multe studii raportează o gamă largă a ratei de succes chirurgical pentru aceste dispozitive (implantul Ahmed reprezintă o rată de succes între 68% și 100%, iar Baerveldt între 43 și 100%), în funcție de designul studiului, durata de urmărire și criteriile de succes [10, 11].

În pofida eficacității dispozitivelor de drenaj în scăderea PIO, mecanismele de eșec (răspunsul la corp străin, fibroza subconjunctivală, încapsularea plăcii sau a regiunii distale de scurgere și dinamica imprevizibilă a umorii apoase) continuă să existe [12 - 14]. Aceste limitări biologice subliniază importanța continuă a optimizării biomaterialelor, a proprietăților suprafeței și a caracteristicilor de scurgere. În plus algoritmi chirurgicali au fost modificați odată cu apariția chirurgiei minim invazive a glaucomului (MIGS), care oferă opțiuni îmbunătățite, dar adesea cu o capacitate mai mică de reducere a PIO în comparație cu dispozitivele convenționale [15, 16].

Scopul studiului a constat în analiza sistematică a dispozitivelor contemporane de drenaj pentru chirurgia glaucomului în vederea integrării conceptuale a șuntului antiglaucomatos cu supapă dezvoltat de către autori.

Materiale și metode

Șuntului antiglaucomatos cu supapă este obiectul proprietății intelectuale la Catedra de oftalmologie a Universității de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu” și necesită plasare în clasificarea actuală a sistemelor de drenaj al umorii apoase din perspectiva mecanismelor de reglare a fluxului umorii apoase, a interacțiunilor biologice și a căilor de eșec.

Pentru colectarea datelor s-au respectat standardele stabilite în ghidul Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (www.prisma-statement.org). Obiectivul a fost identificarea și sinteza sistematică a literaturii de specialitate privind DDG, cu accent special pe principiile de funcționare și răspunsul tisular la amplasarea acestora, ceea ce ar permite poziționarea noului șunt antiglaucomatos în arsenalul actual.

A fost efectuată o analiză exhaustivă a literaturii de specialitate în bazele de date: PubMed/Medline, Scopus și Web of Science. Au fost incluse studiile publicate între ianuarie 2015 și decembrie 2025. Termenii de căutare au fost: "dispozitiv de drenaj pentru glaucom" sau "șunt antiglaucomatos" sau "implant pentru glaucom" sau "valvă Ahmed" sau "stent XEN Gel" sau "PreserFlo MicroShunt" și "fibroză" sau "reacție la corp străin" sau "încapsulare" sau "biocompatibilitate" sau "chirurgie minim invazivă pentru glaucom" sau "MIGS".

Criteriile de includere setate au fost: (1) studii clinice originale, studii experimentale/preclinice și revizuire sistematică sau narative; (2) studii care evaluează dispozitivele de drenaj pentru glaucom, microșunturi sau proceduri de scurgere a UA cu utilizarea implanturilor; (3) articole care prezintă informații despre proiectarea dispozitivelor, materialelor, tehnicilor de implantare, răspunsului biologic sau rezultatele chirurgicale; (4) publicații în limba engleză.

Criterii de excludere au fost: (1) rapoarte de caz izolate (mai puțin de 5 pacienți); (2) rezumate ale conferințelor fără text complet; (3) articole care nu abordează direct chirurgia glaucomului bazată pe implanturi; (4) articole neevaluate de experți (peer-review).

În diagrama PRISMA a fost ilustrat procesul de selectare a studiilor (fig. 1). Au fost *extrase date* precum: denumirea și categoria dispozitivului; compoziția materialului și proprietățile suprafeței; abordarea implantării (*ab externo* și *ab interno*); calea de scurgere țintă (subconjunctivală, supracoroidală, camera anterioară); reducerea PIO și a medicației raportate; profilul complicațiilor (hipotonie, fibroză, încapsulare, eroziune, ocluzie); rezultate biologice și histologice. Datele au fost sintetizate calitativ și organizate în secțiuni care abordează: clasificarea șunturilor antiglaucomatoase; caracteristicile materialelor; mecanisme de eșec și răspunsul biologic; performanța clinică și limitările. A fost efectuată o comparație a caracteristicilor de design, a proprietăților materialelor și a performanțelor biologice preclinice ale noului șunt cu cele ale dispozitivelor identificate în literatura de specialitate. Această abordare comparativă a fost utilizată pentru a evidenția modul în care noul dispozitiv ar putea răspunde nevoilor actuale în ceea ce privește controlul fluxului, biocompatibilitatea și modularea fibrozei.

Rezultate

Dispozitive de drenaj antiglaucom cu filtrare subconjunctivală: principii de proiectare și performanță clinică

Literatura de specialitate clasifică sistemele de drenaj al UA în trei categorii principale: dispozitive cu valve, dispozitive fără valvă și microșunturi subconjunctivale cu lumen fix (fig.2). Deși toate au ca scop scăderea PIO prin devierea UA din camera anterioară către un rezervor extern, acestea sunt foarte diferite în ceea ce privește reglarea fluxului, biomaterialele și interacțiunea cu țesuturile oculare, factori care influențează succesul intervenției chirurgicale [17 - 20].

Cel mai utilizat *implant de drenaj cu supapă* este Ahmed Glaucoma Valve (New World Medical, Rancho Cucamonga, CA, USA). Supapa sa din elastomer siliconic sensibilă la presiune restricționează fluxul postoperator și reduce riscul de hipotonie [17, 21]. UA se scurge către placa subconjunctivală după implantare, unde se formează o capsulă fibroasă care devine principală sursă de rezistență la scurgere [22].

Ratele de hipotonie postoperatorie precoce la implanturile cu supapă sunt mai mici decât la implanturile fără supapă [21]. Cu toate acestea, PIO pe termen lung are tendința de a fi mai mare, iar pacienții pot necesita medicație adjuvantă [23-24].

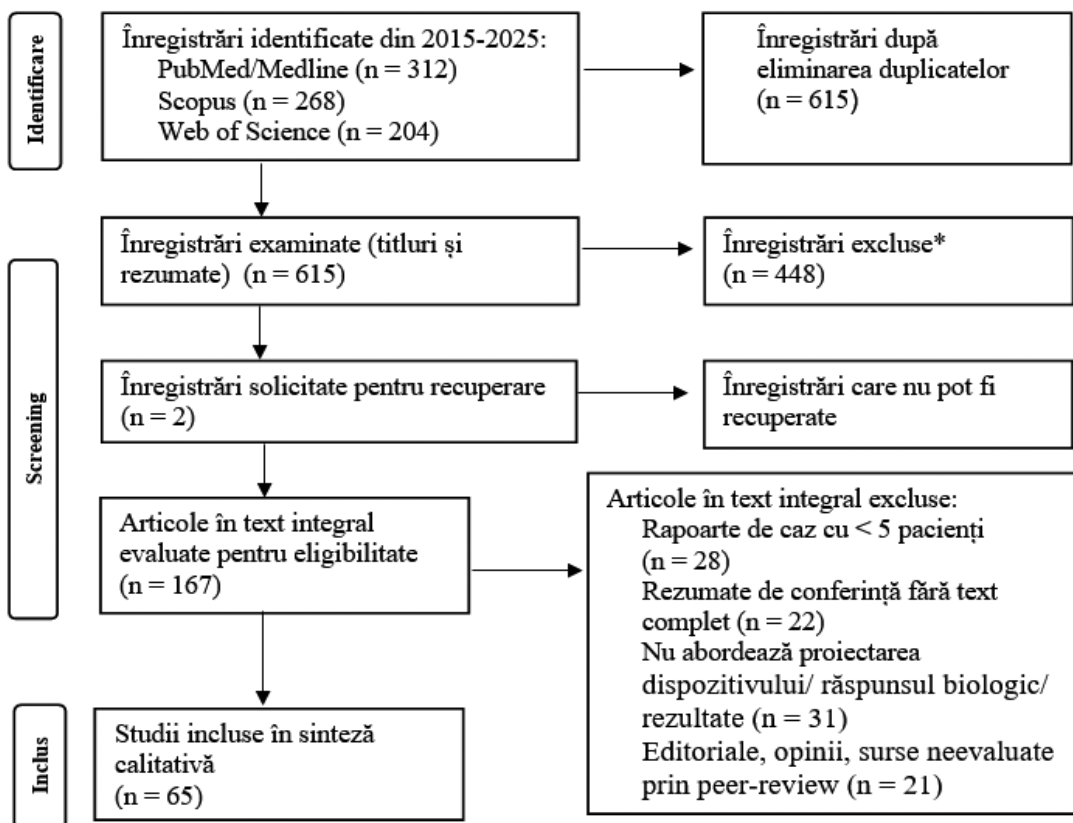


Figura 1. Diagrama PRISMA a procesului de selecție a studiilor, 2015-2025

*Nu au legătură cu dispozitivele de drenaj/șunturi pentru glaucom; Nu sunt operații de glaucom bazate pe implanturi; Nu raportează designul, biocompatibilitatea sau rezultatele chirurgicale

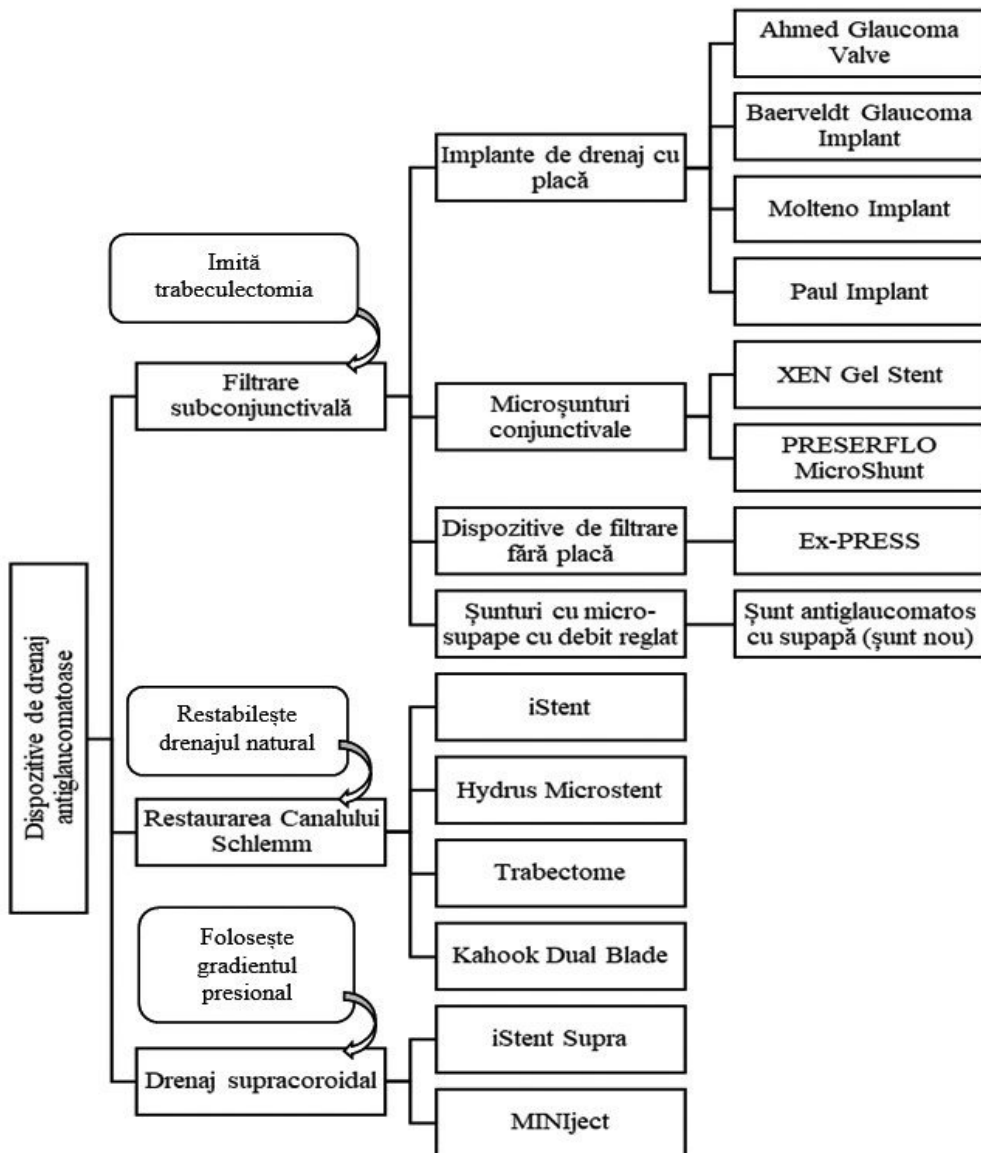


Figura 2. Clasificarea sistemelor de drenaj în funcție de mecanismul modificării fluxului de UA

Faza de hipertensiune postoperatorie care apare în primele luni după operație este atribuită încapsulării fibrovasculare din jurul plăcii [25]. Principala cauză a eșecului chirurgical tardiv rămâne formarea capsulei. Suprafața mică a plăcii crește rezistența hidraulică și activitatea fibroblastică, ceea ce duce la o eficiență scăzută a filtrării pe termen lung [14].

Implanturile Molteno (Molteno Ophthalmic Ltd., Dunedin, New Zealand), Baerveldt Glaucoma (Abbott Medical Optics, Santa Ana, CA, USA), Paul Implant (Advanced Ophthalmic Innovations, Singapore) reprezintă *sisteme de drenaj fără supapă* cu suprafață mare. În comparație cu implanturile cu supapă, aceste dispozitive prezintă o PIO mai scăzută pe termen lung și o dependență mai mică de medicamente [23]. Deoarece nu au rezistență intrinsecă, ligaturarea temporară sau stentarea sunt necesare pentru a preveni hipotonia precoce [18]. Performanța lor pe termen lung depinde în mare măsură de formarea și permeabilitatea capsulei fibroase care înconjoară placa, aceasta fiind mai largă

și mai subțire. Acest lucru reduce rezistența la fluxul de ieșire pe o perioadă mai îndelungată de timp și îmbunătățește controlul presiunii [14], scăzând și rata complicațiilor [26-27].

Dispozitivul de drenaj subconjunctival fără valvă, Implantul Paul (Advanced Ophthalmic Innovation, Singapore), are un lumen mai mic, conceput pentru a limita fluxul postoperator. Fiind un implant pe bază de silicon, acesta prezintă o bună biocompatibilitate oculară și o reactivitate inflamatorie relativ scăzută [28]. Spre deosebire de implanturile cu supapă, la care rezistența inițială este determinată mecanic, Paul Glaucoma Implant trece prin trei mecanisme de reglare: control mecanic extern (prin ligaturare chirurgicală), limitare hidrodinamică (rezistența lumenului) și formarea capsulei [29]. Această tranziție îl transformă într-un hibrid între implanturile tradiționale cu placă mare și microșunturile moderne.

Dispozitivul de filtrare Ex-Press (Alcon Laboratoires, Fort Worth, TX, USA) este un microșunt

din oțel inoxidabil care se implantează sub lambou scleral. Implantarea lui permite crearea unei fistule între camera anterioară și spațiul subconjunctival, formând o bulă de filtrare convențională, asemănătoare trabeculectomiei. Lumenul intern al acestuia asigură o drenare previzibilă a umorii apoase în comparație cu metoda tradițională [30].

Conform numeroaselor studii, tehnica cu plasare a microșuntului Ex-PRESS permite o reducere a PIO echivalentă cu cea a trabeculectomiei, însă oferă o durată mai scurtă a intervenției chirurgicale, o recuperare vizuală mai rapidă și o rată mai mică a hipotoniei și inflamației postoperatorii precoce. Dar succesul pe termen lung depinde de funcționarea veziculei și de recuperarea plăgii după operație [31] fiind influențată de activarea fibroblazelor și formarea de cicatrici subconjunctivale. Astfel, Ex-PRESS este asociat ca și trabeculectomia, cu o serie de mecanisme biologice de eșec, inclusiv: formarea veziculei, încapsularea, cicatrizarea excesivă și rezistența crescută la scurgere [30].

Stentul XEN Gel (AbbVie Inc., Chicago, IL, USA) și PreserFlo (Santen Pharmaceutical, Co., Ltd., Osaka, Japan) sunt *dispozitive subconjunctivale* minim invazive. Aceste implanturi au un lumen mic și calibrat ceea ce asigură o rezistență intrinsecă bazată pe principii fluidodinamice, decât pe o valvă mecanică [32]. Aceste dispozitive demonstrează o siguranță îmbunătățită și o recuperare postoperatorie mai rapidă în comparație cu implanturile de drenaj tradiționale, dar realizează o reducere mai moderată a PIO, ceea ce poate fi insuficient în cazul glaucomului avansat care necesită presiuni țintă scăzute [33-34]. Deoarece filtrarea depinde în totalitate de absorbția subconjunctivală, fibroza este principalul factor determinant în succesul pe termen lung, ceea ce face ca proprietățile biomaterialului și modularea vindecării plăgii să fie factori critici [33, 35-36].

Dispozitive pentru restaurarea canalului Schlemm sunt o categorie distinctă de intervenții chirurgicale pentru glaucom care au scopul de a îmbunătăți calea fiziologică de scurgere trabeculară în loc de a crea alternativă de drenaj subconjunctival. Spre deosebire de procedurile de drenaj subconjunctival, aceste implanturi previn formarea pernuțelor de filtrare și, prin urmare, prezintă un profil de siguranță mai bun, însă eficacitatea lor depinde de sistemul venos episcleral și de integritatea funcțională a canalelor colectoare distale [15-16].

iStent (Glaukos Corporation, Laguna Hills, CA, USA) este un micro-bypass trabecular din titan, acoperit cu heparină care se implantează *ab interno* prin rețeaua trabeculară în canalul Schlemm. Implantul este conceput pentru a crea o cale directă între camera anterioară și sistemul convențional de scurgere, reducând traumatismul țesuturilor [37].

Recuperarea postoperatorie rapidă și menținerea integrității conjunctivei pentru viitoarele posibile intervenții chirurgicale oculare sunt posibile datorită dimensiunilor sale mici și tehnicii de implantare minim invazive utilizate.

Studiile clinice demonstrează că dispozitivul *iStent* asigură o reducere ușoară până la moderată a PIO la pacienții cu GPUD [38]. Facoemulsificarea este frecvent combinată cu procedura de implantare a acestuia. Cu toate acestea, reducerea PIO este fiziologic limitată de presiunea venoasă episclerală, deoarece drenajul apos depinde de căile de scurgere venoasă distale. Ca urmare, valorile țintă extrem de mici ale PIO sunt rareori atinse folosind doar bypass-ul trabecular [15, 37, 39].

Reacțiile biologice ale *iStent* sunt mai puține decât cele ale dispozitivelor de drenaj subconjunctival datorită absenței pernuței de filtrare și expunere mai redusă la corp străin. Cu toate acestea, endotelizarea, acumularea de pigment sau blocarea orificiului de intrare la nivelul trabeculului poate reduce treptat permeabilitatea dispozitivului [15]. Prin urmare, menținerea funcționalității canalului colector și permeabilitatea implantului sunt ambele esențiale pentru eficacitate pe termen lung.

Microstentul *Hydrus* (Ivantis, Inc., Irvine, CA) este un suport intracanalicular din nitinol conceput pentru a ocoli rezistența trabeculară și a dilata canalul Schlemm pe o circumferință de aproximativ 90° [40]. *Hydrus* folosește dilatarea canalului asigurând o reducere moderată și susținută a PIO [41], păstrând integritatea conjunctivei. Dispozitivul are o reacție inflamatorie scăzută și o biocompatibilitate oculară bună [40].

Dispozitivele pentru goniectomie și excizia trabeculară precum Trabectome (Microsurgical Technology, Redmond, WA) și Kahook Dual Blade (New World Medical, Rancho Cucamonga, CA) îndepărtează sau excizează segmente din rețeaua trabeculară pentru a facilita scurgerea fiziologică a umorii apoase [42]. Deși se caracterizează printr-o biocompatibilitate excelentă și prin conservarea conjunctivei, eficacitatea lor rămâne limitată de rezistența căilor de scurgere [15, 42].

Dispozitivele de drenaj supracoroidal reprezintă o categorie distinctă de intervenții chirurgicale minim invazive pentru glaucom, concepute pentru a îmbunătăți calea de scurgere uveosclerală prin direcționarea umorii apoase din camera anterioară în spațiul supracoroidal. Aceste implanturi folosesc gradientul natural de presiune hidrostatică dintre camera anterioară și compartimentul supracoroidal, spre deosebire de tehnicile de filtrare subconjunctivală [15, 16]. Avantajele acestora includ: drenajul umorii apoase independent de formarea pernuței de filtrare, reducerea fibrozei subconjunctivale, rate mai

scăzute de hipotonie postoperatorie și conservarea țesuturilor conjunctivale. Cu toate acestea, fibroza și remodelarea spațiului supracoroidal afectează eficacitatea pe termen lung [12]. Dezvoltarea acestei categorii a fost semnificativ afectată de retragerea din utilizare a micro-stentului *CyPass* (Transcend Medical, Inc., Menlo Park, CA, USA) în 2018 ca urmare a concluziilor studiilor care demonstau pierderea progresivă a celulelor endoteliale corneene [43].

Dispozitivele precum *iStent Supra* (Glaukos Corporation, SanClemente, CA, USA) rămân limitate în utilizarea clinică pe scară largă, în timp ce *MINIject* (iStar Medical, Wavre, Belgium) este cel mai bine plasat din punct de vedere clinic printre dispozitivele supracoroidale disponibile în prezent. *iStent Supra* este un microstent de tip *ab interno*, fabricat din polietersulfonă și titan biocompatibil, cu o suprafață modificată cu heparină, menită să reducă răspunsul inflamator și depunerea de proteine [44]. Rezultatele preliminare ale acestui dispozitiv sunt încurajatoare, dar limitate, din cauza fibrozării progresive, colapsului fisurii supracoroidale și reorganizării cronice a țesuturilor [12].

MINIject este un microshunt supraciliar constituit din biomaterial poros flexibil pe bază de silicon, care permite difuzia controlată a umorii apoase în spațiul supracoroidal. Structura sa permite reducerea fibrozei focale, îmbunătățește integritatea țesuturilor, stabilizează caracteristicile de scurgere pe termen lung și distribuie umoarea pe o suprafață de contact mai mare [45]. Acesta a demonstrat o reducere moderată și susținută a PIO la pacienții cu GPUD [46]. Procedura oferă beneficii precum: inflamație postoperatorie redusă, incidența scăzută de hipotonie și menținerea opțiunilor chirurgicale conjunctivale viitoare. În prezent, *MINIject* reprezintă cel mai avansat din punct de vedere clinic și cel mai utilizat dispozitiv MIGS supracoroidal. Cu toate acestea, reglarea biologică a fluxului de excreție a umorii apoase rămâne dependentă de stabilitatea pe termen lung a spațiului supracoroidal [47].

Poziționarea noului șunt dezvoltat. Dispozitivul are un element tubular compact de drenaj și un mecanism intern de supapă care permite scurgerea umorii apoase atunci când presiunea intraoculară depășește un prag prestabilit [48]. Șuntul folosește un micro-drenaj controlat pentru a reduce solicitarea mecanică asupra țesuturilor înconjurătoare, deoarece nu are un rezervor episcleral de dimensiuni mari, spre deosebire de implanturile tradiționale de tip placă. În acest model sunt combinate două principii: reglarea debitului în funcție de presiune și amprenta corpului străin minimizată. Designul reduce stimulul pentru încapsularea fibrotică și stabilizează hidrodinamica postoperatorie prin limitarea suprafiltrării și expunerii subconjunctivale excesive [13, 49].

Șuntul este fabricat din polimetilmetacrilat

(PMMA), un material utilizat pe scară largă în special datorită biocompatibilității oculare înalte, prin reactivitate inflamatorie redusă și stabilității chimice în mediul umorii apoase [13, 50, 51]. În urma modificării suprafeței cu heparină, materialul dobândește proprietăți antiaderente hidrofobe, ceea ce reduce depunerea de proteine și atașare celulară. Acest lucru reduce riscul de blocaj fibrotic și obstrucție intraluminală [51]. Dispozitivul prezentat introduce o rezistență primară la nivelul implantului însuși. Acest lucru diferă de implanturile de drenaj cu placă mare, unde rezistența este determinată în primul rând de permeabilitatea capsulei (Schema 1).

În consecință, controlul presiunii este mutat de la răspunsul biologic la predictibilitatea mecanică. Din acest motiv, din punct de vedere teoretic, acest dispozitiv abordează principale cauze ale eșecului chirurgical de drenaj în glaucom (tab.1).

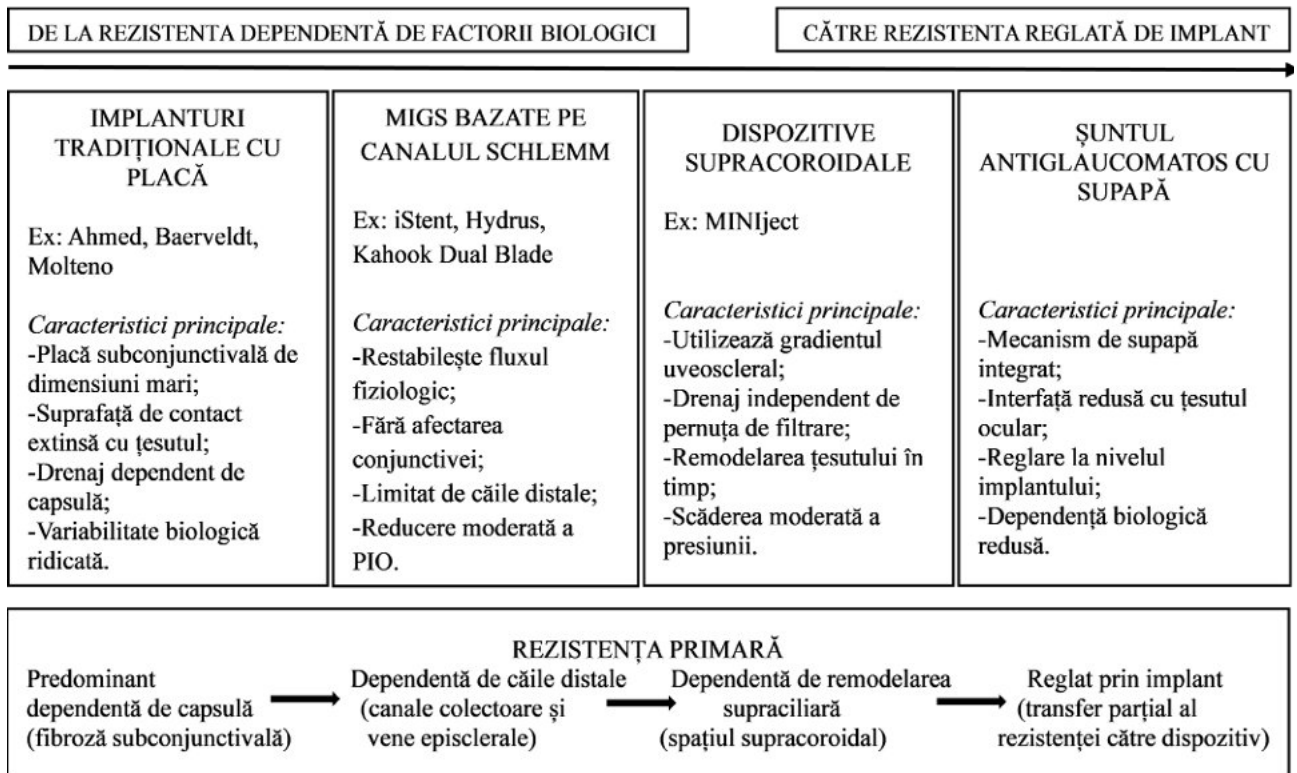
Discuții

Chirurgia filtrantă a glaucomului a evoluat semnificativ în ultimele decenii. Aceasta a trecut de la implanturi subconjunctivale cu placă mare la utilizarea sistemelor minim invazive de modificare a fluxului umorii apoase, care sunt concepute pentru a crește siguranța intervenției și a minimiza leziunile tisulare [15-16]. În pofida progreselor semnificative în tehnologie, succesul chirurgical pe termen lung este încă semnificativ afectat de modul biologic la rezistența la scurgere a umorii și de dimensiunea dispozitivului sau metoda de implantare [12, 16].

Implanturile tradiționale de drenaj pentru glaucom, precum valva Ahmed, Baerveldt, Molteno, Paul Implant, Ex-PRESS se concentrează în principal pe crearea unei capsule fibroase în jurul plăcii distale [9, 11, 29].

Rezistența hidraulică pe termen lung devine treptat dependentă de încapsularea fibrovasculară și de recuperarea postoperatorie a plăgii, în ciuda faptului că aceste implanturi reduc eficient PIO [7-8]. Ca urmare, performanța chirurgicală pe termen lung este de obicei influențată de variabilitatea biologică, mai degrabă decât de proprietățile pur mecanice ale fluxului de excreție [12]. Prin mecanisme intrinseci de restricție a fluxului, implanturile cu supapă pot reduce hipotonia precoce postoperatorie, dar pot provoca remodelarea capsulară progresivă și faza hipertensivă [6]. În schimb, implanturile fără supapă oferă adesea o PIO mai mică pe termen lung, dar un risc mai mare de hipotonie postoperatorie precoce și probleme mai complicate de gestionat postoperator [8].

Apariția chirurgiei minim invazive a modificat semnificativ tratamentul glaucomului, punând accent pe conservarea țesuturilor, protejarea conjunctivei și scăderea morbidității postoperatorii [15-16]. Proceduri de restaurare a canalului Schlemm și cele



Schema 1. Evoluția locului principal de rezistență la scurgere în chirurgia de drenaj a glaucomului

Tabelul 1.

Analiza comparativă a mecanismelor de reglare a fluxului pentru dispozitivele convenționale și inovatoare de drenaj în glaucom

Mecanismul de eșec	Implanturi tradiționale	Șuntul antiglaucomatos propus
Locul principal de rezistență la excreție	Rezistența pe termen lung depinde în principal de maturarea capsulei fibrovasculare din jurul plăcii de drenaj, deși caracteristicile inițiale ale fluxului depind de design-ul dispozitivului de drenaj.	Mecanismul integrat de reglare poate ajuta la controlul parțial al fluxului la nivelul implantului.
Hipotonie precoce	Frecventă în implanturile fără valvă, unde lipsa unei rezistențe intrinseci determină supradrenajul precoce.	Debitul postoperator precoce poate fi limitat mecanic prin intermediul mecanismului de supapă integrat, reducând, teoretic, suprafiltrarea bruscă și hipotonia excesivă în faza inițială de cicatrizare a plăgii.
Faza hipertensivă	Frecventă în dispozitive de drenaj cu placă subconjunctivală la care se asociază încapsularea fibrovasculară progresivă a plăcii, ceea ce duce la o rezistență crescută la scurgere și o fază hipertensivă postoperatorie	Suprafața mai mică a plăcii poate reduce zona pentru încapsulare fibrovasculară, ceea ce ar putea atenua rezistența la fluxul de ieșire pe termen lung
Rezistența dependentă de fibroza subconjunctivală	Succesul pe termen lung depinde în mare măsură de remodelarea și permeabilitatea capsulei fibroase care se formează în jurul implantului.	Interfața redusă dintre șuntul antiglaucomatos și țesut, precum și reglarea fluxului la nivelul implantului primar pot diminua dependența de încapsulare fibrotică subconjunctivală ca factor determinant principal al rezistenței hidraulice pe termen lung.
Interacțiunea dispozitiv-țesut	Proliferarea fibroblastelor, depunerea de colagen și formarea capsulei fibroase sunt favorizate în special de suprafața extinsă a plăcii dispozitivelor.	Design-ul compact și suprafața redusă a șuntului pot diminua activarea fibroblastică locală și pot limita stimulul biologic de încapsulare excesivă.

de excizie trabeculară încearcă să restabilească fluxul fiziologic al umorii apoase, reducând în același timp fibroza subconjunctivală [41-42]. Cu toate acestea, presiunea venoasă episclerală, integritatea canalului colector și funcționarea căii de scurgere distală limitează eficacitatea lor. În consecință, aceste proceduri garantează o reducere moderată a presiunii în timp ce mențin un profil de siguranță favorabil.

În mod similar, au fost dezvoltate sisteme de drenaj supracoroidal pentru a exploata gradientul hidrostatic natural dintre camera anterioară și spațiul supracoroidal [46]. În mod teoretic, această abordare poate combina o eficiență sporită a fluxului de ieșire cu o dependență mai mică de fibroza subconjunctivală. Cu toate acestea, experiența clinică a demonstrat că remodelarea biologică a spațiului supracoroidal rămâne o componentă critică a performanței pe termen lung [45-47]. Retragerea stentului CyPass ca urmare a pierderii progresive a celulelor endoteliale a sporit importanța poziționării implantului și a siguranței endoteliale pentru crearea viitoarelor dispozitive [43].

Un principiu comun în toate tipurile de intervenții chirurgicale de drenaj în glaucom este că rezistența la scurgere a umorii apoase se schimbă progresiv de la mecanisme care depind de dispozitiv la răspunsuri biologice ale țesuturilor. În chirurgia de filtrare subconjunctivală, rezistența devine predominant dependentă de capsula formată; în procedurile MIGS- trabeculare, acestea depind de integritatea canalului colector distal și de presiunea venoasă episclerală; în timp ce în sistemele supracoroidale, remodelarea țesutului din spațiul supraciliar determină treptat performanța hidraulică [12, 15-16].

În acest context, șuntul antiglaucomatos cu supapă din PMMA introduce o abordare conceptuală diferită, bazată pe redistribuirea parțială a rezistenței la scurgere de la țesuturile biologice către o reglare mecanică la nivelul implantului. Designul propus include un mecanism integrat de supapă pentru a menține rezistența principală în interiorul implantului. Acest lucru îl diferențiază de dispozitivele convenționale pe bază de placă, care se bazează în principal pe încapsularea subconjunctivală. În același timp, activarea fibroblastică și maturarea capsulară pe termen lung pot fi atenuate teoretic prin reducerea interfeței implant-țesut și absența unei plăci episclerale de dimensiuni mari. Utilizarea PMMA susține în plus biocompatibilitatea oculară dovedită, stabilitatea clinică și reactivitatea inflamatorie scăzută [13, 49]. Acoperirea cu heparină și alte tehnici de modificare a suprafeței pot reduce și mai mult aderența proteinelor și agregarea celulară. Acest lucru ar putea duce la o reducere a obstrucției intraluminale și a răspunsului fibrotic [51]. Cu toate acestea, în pofida observațiilor preclinice încurajatoare, comportamentul biologic

pe termen lung și stabilitatea presională a dispozitivului propus rămân la nivel teoretic și necesită validare extinsă clinică.

La interpretarea prezentei analize trebuie luat în considerare câteva limitări. Studiile disponibile evidențiază o mare eterogenitate în ceea ce privește indicațiile chirurgicale, definițiile succesului, durata urmăririi și protocoalele de gestionare postoperatorie. Datele comparative pe termen lung rămân limitate pentru mai multe dispozitive MIGS și supracoroidale mai noi [15-16]. În plus, șuntul cu supapă propus nu a fost încă supus unei evaluări clinice la scară largă. Avantajele sale teoretice se bazează în principal pe observațiile preclinice, principiile de proiectare și proprietățile biomaterialelor.

Concluzii

Chirurgia glaucomului prezintă o evoluție progresivă de la sisteme de filtrare de mari dimensiuni către dispozitive minim invazive. În pofida progreselor, control biologic al rezistenței la excreția umorii apoase rămâne esențial pentru succesul chirurgical pe termen lung al fiecărui tip de implant.

În consecință, nu numai obținerea unei reduceri eficiente a presiunii intraoculare este importantă, dar ar trebui luate în considerare îmbunătățirea predictibilității hidraulice, reducerea variabilității dependente de țesut și optimizarea interacțiunii pe termen lung între implant și țesut ocular. Șuntul antiglaucomatos cu supapă propus reprezintă o încercare conceptuală de a transfera parțial reglarea rezistenței de la încapsularea biologică la controlul fluxului la nivelul implantului. Deși această metodă pare promițătoare din punct de vedere teoretic, este nevoie de mai multe studii experimentale și clinice pentru a stabili dacă este sigură și eficientă pe termen lung.

Declarații

Abrevieri

PIO - presiunea intraoculară, DDG - dispozitive de drenaj pentru chirurgia glaucomului, UA - umoare apoasă, MIGS - chirurgie minim invazivă a glaucomului, PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, GPUD - glaucom primar cu unghi deschis.

Aprobare etică și consimțământ pentru participare

Cercetarea a primit Aviz favorabil al Comitetului de Etică a Cercetării, IP USMF "Nicolae Testemițanu", nr. 20 din 21.11.2017.

Consimțământ pentru publicare

Ambii autori au dat acordul pentru publicarea articolului.

Disponibilitatea datelor și materialelor

Toate datele analizate în cadrul acestui studiu sunt disponibile la autorul corespondent și pot fi prezentate la cerere argumentată.

Declarația de conflict de interese

Autorii declară lipsa oricărui conflict de interese.

Declarația de finanțare

Articolul a fost elaborat în cadrul Proiectului științific de doctorat 2016–2021, „Funcționarea șuntului antiglaucomatos și compoziția umorii apoase”.

Contribuțiile autorilor

Maria Iacubitchii/MI a contribuit la conceperea studiului, elaborarea metodologiei, analiza și interpretarea datelor, redactarea manuscrisului. Eugeniu Bendelic/EB a contribuit la conceptualizarea studiului, supervizarea activității de cercetare, interpretarea rezultatelor, revizuirea critică a manuscrisului. Ambii autori au citit și au aprobat versiunea finală a articolului pentru publicare.

Mulțumiri

Autorii adresează mulțumiri dlui Alsaliem Sulaiman pentru contribuția sa la proiectarea și dezvoltarea șuntului antiglaucomatos cu supapă descris în această lucrare.

Bibliografie:

1. QUIGLEY, H., BROMAN, A.T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. In: *Br J Ophthalmol*. 2006 Mar 1;90(3):262–7. ISSN 0007-1161. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.081224>
2. ALLISON, K., PATEL, D., ALABI, O. Epidemiology of Glaucoma: The Past, Present, and Predictions for the Future. In: *Cureus*. 2020 Nov 25;12(11). ISSN 2168-8184. <https://doi.org/10.7759/cureus.11686>
3. BAGNASCO, L., BAGNIS, A., BONZANO, C. Terminology and guidelines for glaucoma. 5th ed. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. In: *Savona PubliComm*. 2020. 89 p. ISBN 978-88-98320-48-6. https://eugs.org/educational_materials/6
4. THAM, Y.C., LI, X., WONG, T.Y., et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014 Nov 1;121(11):2081–90. ISSN 0161-6420. <http://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>
5. BOURNE, R.R.A., JONAS, J.B., FRIEDMAN, D., NANGIA, V., et al. Global estimates on the number of people blind or visually impaired by glaucoma: A meta-analysis from 2000 to 2020. In: *Eye*. 2024 Aug 1;38(11):2036. PMID 38565601. <http://doi.org/10.1038/s41433-024-02995-5>
6. ASRANI, S.G., MCGLUMPHY, E.J., AL-ASWAD, L.A., CHAYA, C.J., et al. The relationship between intraocular pressure and glaucoma: An evolving concept. In: *Prog Retin Eye Res*. 2024 Nov 1;103:101303. ISSN 1350-9462. <http://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2024.101303>
7. KAVITHA, S., USHA TEJASWINI, S., VENKATESH, R., ZEBARDAST, N. Wound modulation in glaucoma surgery: The role of anti-scarring agents. In: *Indian J Ophthalmol*. 2023 Mar 26;72(3):320. ISSN 0301-4738. http://doi.org/10.4103/IJO.IJO_2013_23
8. PEREIRA, I.C.F., VAN DE WIJJEVEN, R., WYSS, H.M., et al. Conventional glaucoma implants and the new MIGS devices: a comprehensive review of current options and future directions. In: *Eye*. 2021 Dec 1;35(12):3202. ISSN 0950-222X. <http://doi.org/10.1038/s41433-021-01595-x>
9. ROTSOS, T., TSIOGA, A., ANDREANOS, K., et al. Managing high risk glaucoma with the Ahmed valve implant: 20 years of experience. In: *Int J Ophthalmol*. 2018;11(2):240–4. ISSN 2222-3959. <http://doi.org/10.18240/ijo.2018.02.10>
10. SCHWARTZ, K.S., LEE, R.K., GEDDE, S.J. Glaucoma drainage implants: a critical comparison of types. In: *Curr Opin Ophthalmol*. 2006 Apr;17(2):181–9. ISSN 1040-8738. <http://doi.org/10.1097/01.icu.0000193080.55240.7e>
11. PURTSKHVANIDZE, K., SAEGER, M., TREUMER, F., et al. Long-term results of glaucoma drainage device surgery. In: *BMC Ophthalmol* 2019 191. 2019 Jan 10;19(1):14. ISSN 1471-2415. <http://doi.org/10.1186/s12886-019-1027-z>
12. TUNGA, H., SHOME, N., SHAFIEE, A., JONNALAGADDA, P., et al. Glaucoma Drainage Devices and Minimally Invasive Glaucoma Surgery—Evolution of Designs and Materials. In: *Des* 2025, Vol 9, Page 145. 2025 Dec 15;9(6):145. ISSN 2411-9660. <http://doi.org/10.3390/designs9060145>
13. IACUBITCHII, M., BENDELIC, E., PADUCA, A., et al. In vivo Evaluation of PMMA Antiglaucoma Shunt's Biocompatibility. In: *IFMBE Proceedings 6th Int Conf Nanotechnologies Biomed Eng*. 2024;92:431–42. ISBN 978-3-031-42782-4. http://doi.org/10.1007/978-3-031-42782-4_46
14. DAVE, B., PATEL, M., SURESH, S., et al. Wound Modulations in Glaucoma Surgery: A Systematic Review. In: *Bioeng* 2024, Vol 11, Page 446. 2024 Apr 30;11(5):446. ISSN 2306-5354. <http://doi.org/10.3390/bioengineering11050446>
15. BALAS, M., MATHEW, D.J., BALAS, M., MATHEW, D.J. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: A Review of the Literature. In: *Vis* 2023, Vol 7, Page 54. 2023 Aug 21;7(3):54. ISSN 2411-5150. <http://doi.org/10.3390/vision7030054>
16. ANG, B.C.H., LIM, S.Y., BETZLER, B.K., et al. Recent Advancements in Glaucoma Surgery—A Review. In: *Bioengineering*. 2023 Sep 1;10(9):1096. ISSN 2306-5354. <http://doi.org/10.3390/bioengineering10091096>
17. KUMAR, S., THAKUR, S., SHARMA, M. Ahmed glaucoma valve in refractory glaucoma: A retrospective study. In: *J Clin Diagnostic Res*. 2018 Apr 1;12(4):NC08-NC11. ISSN 0973-709X. <http://doi.org/10.7860/JCDR/2018/32447.11435>
18. MOLTENO, A.C. New implant for drainage in glaucoma. Clinical trial. In: *Br J Ophthalmol*. 1969 Sep 1;53(9):606–15. ISSN 0007-1161. <http://doi.org/10.1136/bjo.53.9.606>
19. DHAWALE, K.K., TIDAKE, P., DHAWALE, D.K.K., TIDAKE, P. A Comprehensive Review of Recent Advances in Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Current Trends

- and Future Directions. In: *Cureus*. 2024 Jul 24;16(7). ISSN 2168-8184. <http://doi.org/10.7759/cureus.65236>
20. BARAC I.R. Chirurgia glaucomului-sisteme artificiale de drenaj. In: *Romanian Journal of Medical Practice*. 2012;VII(1(25)):39–42. ISSN: 1842-8258. https://rjmp.com.ro/articles/2012.1/PM_Nr-1_2012_Art-6.pdf
 21. BARAC, R.I., HARGHEL, V., ANTON, N., et al. Initial Clinical Experience with Ahmed Valve in Romania: Five-Year Patient Follow-Up and Outcomes. In: *Bioeng 2024*, Vol 11. 2024 Aug 12;11(8). ISSN 2306-5354. <http://doi.org/10.3390/bioengineering11080820>
 22. MASSOTE, J.A., OLIVEIRA, V.D.M.M., CRONEMBERGER, S. Glaucoma drainage devices. In: *Rev Bras Oftalmol*. 2022;81:e0041. ISSN 0034-7280. <http://doi.org/10.37039/1982.8551.20220041>
 23. KOENTJORO, S.L., ARTINI, W., SOEBIJANTORO, I., ISTIANTORO, V.W., et al. Comparison of complications after Ahmed versus Baerveldt implant in glaucoma patients: one year follow-up. In: *Int J Ophthalmol*. 2020 Dec 18;13(12):1908–14. ISSN 2222-3959. <http://doi.org/10.18240/ijo.2020.12.10>
 24. CHRISTAKIS, P.G., KALENAK, J.W., TSAI, J.C., et al. The Ahmed Versus Baerveldt Study: Five-Year Treatment Outcomes. In: *Ophthalmology*. 2016 Oct 1;123(10):2093–102. ISSN 0161-6420. <http://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.06.035>
 25. TANG, M., GILL, N., TANNA, A.P. Incidence and Outcomes of Hypertensive Phase After Glaucoma Drainage Device Surgery. In: *Ophthalmol Glaucoma*. 2024 Jul 1;7(4):345–51. <http://doi.org/10.1016/j.ogla.2024.03.006>
 26. KOSTRUBAŁA-ŻULEWSKA, M., ŻARNOWSKI, T., KOSIOR-JARECKA, E. Hypotony Maculopathy. In: *Ophthalmology/Okulistyka*. 2025;3(XXVIII):30–4. ISSN 1505-2753. <http://doi.org/10.5114/oku/215550>
 27. BUDENZ, D.L., BARTON, K., GEDDE, S.J., et al. Five-year treatment outcomes in the Ahmed Baerveldt comparison study. In: *Ophthalmology*. 2015 Feb 1;122(2):308–16. ISSN 0161-6420. <http://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.08.043>
 28. LABAY-TEJADO, S., VENTURA-ABREU, N., PORTO-CASTRO, S., In: *Saudi J Ophthalmol*. 2024;38(4):368. ISSN 2542-6680. http://doi.org/10.4103/sjopt.sjopt_164_24
 29. CARLÀ, M.M., GAMBINI, G., BOSELLI, F., HU, L., et al. The Paul Glaucoma Implant: a systematic review of safety, efficacy, and emerging applications. In: *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2025 Sep 1;263(9):2447. ISSN 0721-832X. <http://doi.org/10.1007/s00417-025-06861-2>
 30. NICOLAI, M., FRANCESCHI, A., PELLICIONI, P., et al. EX-PRESS Glaucoma Filtration Device: Management of Complications. In: *Vis*, Vol ;4(3):39. ISSN 2411-5150. <http://doi.org/10.3390/vision4030039>
 31. NICULA, C., NICULA, D., REDNIK, A., et al. Comparison of Ex-PRESS P-200 mini-shunt implantation and standard trabeculectomy for open-angle glaucoma: four-year follow-up. In: *Arch Med Sci*. 2023 Jul 1;19(4):1069–79. ISSN 1734-1922. <http://doi.org/10.5114/aoms.2019.89971>
 32. AYOUB, M., ALNAHRAWY, A. Microshunt Matchup: XEN vs. PRESERFLO in the Arena of Primary Open-Angle Glaucoma. In: *Cureus*. 2025 Oct 23;17(10):e95252. ISSN 2168-8184. <http://doi.org/10.7759/cureus.95252/>
 33. CHEN, X.Z., LIANG, Z.Q., YANG, K.Y., et al. The Outcomes of XEN Gel Stent Implantation: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: *Front Med*. 2022 Feb 4;9:804847. ISSN 2296-858X. <http://doi.org/10.3389/fmed.2022.804847>
 34. JUNG, I.K., LEE, S.B., KIM, J.H., PARK, C.K. Foreign Body Reaction in Glaucoma Drainage Implant Surgery. In: *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Jun 1;54(6):3957–64. ISSN 0146-0404. <http://doi.org/10.1167/iovs.12-11310>
 35. SKUTA, G.L., PARRISH, R.K. Wound healing in glaucoma filtering surgery. In: *Surv Ophthalmol*. 1987;32(3):149–70. ISSN 0039-6257. [http://doi.org/10.1016/0039-6257\(87\)90091-9](http://doi.org/10.1016/0039-6257(87)90091-9)
 36. BATLLE, J. PRESERFLO MicroShunt Implantation in Patients with Primary Open-Angle Glaucoma: 10-Year Results from a Single-Center Nonrandomized Study. In: *Med Res Arch*. 2025;13(7). ISSN 2375-1924. <http://doi.org/10.18103/mra.v13i7.6631>
 37. SAMUELSON, T.W., KATZ, L.J., et al. Randomized Evaluation of the Trabecular Micro-Bypass Stent with Phacoemulsification in Patients with Glaucoma and Cataract. In: *Ophthalmology*. 2011 Mar 1;118(3):459–67. ISSN 0161-6420. <http://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.007>
 38. SALIMI, A., WATT, H., HARASYMOWYCZ, P. Long-term outcomes of two first-generation trabecular microbypass stents (iStent) with phacoemulsification in primary open-angle glaucoma: eight-year results. In: *Eye Vis (London, England)*. 2021 Dec 1;8(1). ISSN 2326-0254. <http://doi.org/10.1186/s40662-021-00263-1>
 39. AGHAYEVA, F.A., ASSAF, A., GURBANZADE, S., LANZL, I.M. Clinical outcomes of combined cataract surgery with iStent inject® W implantation versus cataract surgery alone in patients with open-angle glaucoma: real life data in a community-based outpatient setting. In: *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2025 Nov 1;263(11):3191. ISSN 0721-832. <http://doi.org/10.1007/s00417-025-06909-3>
 40. HAMILTON, N.R., AKHLAQ, A., NNOROMELE, P.O., et al. Clinical Outcomes of Hydrus Microstent Implantation for Open-Angle Glaucoma: Results from a Large Academic Center. In: *Ophthalmol Glaucoma*. 2026 Jan 1;9(1):48–61. ISSN 2589-4196. <http://doi.org/10.1016/j.ogla.2025.08.011>
 41. AHMED, I.I.K., DE FRANCESCO, T., RHEE, D., et al. Long-term Outcomes from the HORIZON Randomized Trial for a Schlemm's Canal Microstent in Combination Cataract and Glaucoma Surgery. In: *Ophthalmology*. 2022 Jul 1;129(7):742–51. ISSN 0161-6240. <http://doi.org/10.1016/j.ophtha.2022.02.021>
 42. FLINNEY, G.D., KIM, E., SARWANA, M., WONG, S., TAI, T.Y.T., LIU, J., et al. Kahook Dual Blade versus Trabectome (KVT): Comparing Outcomes in Combination with Cataract Surgery. In: *Clin Ophthalmol*. 2023;17:145. ISSN 1177-5467. <http://doi.org/10.2147/OPHTH.S391527>
 43. OBUCHOWSKA, I., KONOPIŃSKA, J. Corneal Endothelial Cell Loss in Patients After Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Current Perspectives. In: *Clin Ophthalmol*. 2022;16:1589–600. ISSN 1177-5467. <http://doi.org/10.2147/OPHTH.S359305>
 44. WONG, O.M.M., LEUNG, C.K.S. Safety and efficacy of suprachoroidal stent implantation in patients with primary angle closure/primary angle closure glaucoma. In: *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017 Jun 23;58(8):4984–4984. ISSN 1552-5783. <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2638211>

45. DICK, H.B., MACKERT, M.J., AHMED, I.I.K., et al. Two-Year Performance and Safety Results of the MINiject Supraciliary Implant in Patients With Primary Open-Angle Glaucoma: Meta-Analysis of the STAR-I, II, III Trials. In: *Am J Ophthalmol*. 2024 Apr 1;260:172–81. ISSN 0002-9394. <http://doi.org/10.1016/j.ajo.2023.12.006>
46. DENIS, P., HIRNEIß, C., DURR, G.M., et al. Two-year outcomes of the MINiject drainage system for uncontrolled glaucoma from the STAR-I first-in-human trial. In: *Br J Ophthalmol*. 2022 Jan 1;106(1):65–70. ISSN 0007-1161. <http://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316888>
47. GARCÍA FEIJOÓ, J., DENIS, P., HIRNEIß, C., et al. A European Study of the Performance and Safety of MINiject in Patients With Medically Uncontrolled Open-angle Glaucoma (STAR-II). In: *J Glaucoma*. 2020 Oct 1;29(10):864. ISSN 1057-0829. <http://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001632>
48. BENDELIC, E., ALSALIEM, S. Şunt antiglaucomatos cu supapă. 1493. Int.Cl.: A61F 9/007 (2006.01). In: *Bul Of Propr Intepect*. 2021;1:62–3. ISSN 2345-1815. http://www.agepi.gov.md/sites/default/files/bopi/BOPI_01_2021.pdf#page=7
49. BENDELIC, E. Raport anual privind implementarea proiectului din cadrul Programului de Stat (2020-2023) „Implementarea unei metode chirurgicale în tratamentul glaucomului cu implantarea şuntului cu supapă elaborat”. Chişinău; 2020. https://ancd.gov.md/sites/default/files/20.80009.8007.16_Bendelic_Eugeniu.pdf
50. IACUBITCHII, M., PADUCA, A., ARNAUT, O., BENDELIC, E. Intraocular pressure control after implantation of experimental antiglaucoma shunt versus trabeculectomy. In: *Rom J Ophthalmol*. 2026 Mar 20;70(1):71–9. ISSN 2501-2533. <http://doi.org/10.22336/rjo.2026.10>
51. AGHAMOLLAEI, H., PIRHADI, S., SHAFIEE, S., et al. Application of polymethylmethacrylate, acrylic, and silicone in ophthalmology. *Mater Biomed Eng*. In: *Elsevier*. 2019 Jan 1;507–54. ISBN 978-1119551089. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-816874-5.00015-3>

Autor corespondent:

Maria Iacubitchii, asist.univ.,
Catedra de oftalmologie,
IP USMF „Nicolae Testemiţanu”,
tel.: 079 422 573,
email: maria.iacubitchii@usmf.md

Maria Iacubitchii, <https://orcid.org/0000-0001-8305-9814>

Eugeniu Bendelic, <https://orcid.org/0000-0001-7127-9457>

Articolul a fost primit: 03.06.2026

Acceptat spre publicare: 18.06.2026