

Mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija gydant glaukomą: literatūros apžvalga

Jurgita Kolesnikovė

Vilniaus universitetas, Medicinos fakultetas, Klinikinės medicinos institutas,
Ausų, nosies, gerklės ir akių ligų klinika, Vilnius, Lietuva
Vilnius University, Faculty of Medicine, Institute of Clinical Medicine,
Clinic of Ears, Nose, Throat and Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
Vilniaus universiteto ligoninė Santaros klinikos, Akių ligų centras, Vilnius, Lietuva
Vilnius University Hospital Santaros Klinikos, Department of Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
El. paštas jurgita.pilvelyte@santa.lt

Aistė Kadziauskienė

Vilniaus universitetas, Medicinos fakultetas, Klinikinės medicinos institutas,
Ausų, nosies, gerklės ir akių ligų klinika, Vilnius, Lietuva
Vilnius University, Faculty of Medicine, Institute of Clinical Medicine,
Clinic of Ears, Nose, Throat and Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
Vilniaus universiteto ligoninė Santaros klinikos, Akių ligų centras, Vilnius, Lietuva
Vilnius University Hospital Santaros Klinikos, Department of Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
El. paštas aiste.kadziauskiene@santa.lt

Rimvydas Ašoklis

Vilniaus universitetas, Medicinos fakultetas, Klinikinės medicinos institutas,
Ausų, nosies, gerklės ir akių ligų klinika, Vilnius, Lietuva
Vilnius University, Faculty of Medicine, Institute of Clinical Medicine,
Clinic of Ears, Nose, Throat and Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
Vilniaus universiteto ligoninė Santaros klinikos, Akių ligų centras, Vilnius, Lietuva
Vilnius University Hospital Santaros Klinikos, Department of Eye Diseases, Vilnius, Lithuania
El. paštas rimvydas.asoklis@santa.lt

Santrauka. *Ivadas.* Glaukoma yra lėtinė progresuojanti optinė neuropatija, kuri negydoma lemia negrįžtamą aklumą. Medikamentinis arba chirurginis akispūdžio mažinimas šiuo metu yra vienintelis įrodytas glaukomos progresavimą stabdantis gydymo būdas. Ieškant efektyvių, tačiau saugesnių lazerinės ciklofotokoaguliacijos metodų, XXI a. glaukoma sergantiems pacientams pradėta taikyti mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija (MP-TSCPC), skirta akispūdžiui mažinti, slopinant akies skysčio gamybą krumplyne. *Metodai.* Mokslinės literatūros apžvalga, vertinanti ilgalaikį MP-TSCPC efektyvumą ir saugumą, atlikta „PubMed“, „Embase“, „Web of Science“ ir „Scopus“ duomenų bazėse. Į analizę įtraukta 19 publikacijų, paskelbtų 2010–2026 m. Analizuota 1 512 akių, kurioms atlikta MP-TSCPC. Vertintas intervencijos efektyvumas ir saugumas, esant ne trumpesniam kaip 12 mėn. stebėjimo laikotarpiui, analizuojant akispūdžio pokytį, antiglaukominių vaistų skaičiaus kitimą ir komplikacijų dažnį. *Rezultatai.* Visose publikacijose nustatytas statistiškai reikšmingas akispūdžio sumažėjimas nuo 1 sav. iki 12 mėn. atlikus MP-TSCPC. Vidutinis akispūdžio sumažėjimas po 12 mėn. svyravo nuo 27,1 proc. iki 48,6 proc., palyginti su pradinėmis reikšmėmis. Tyrimuose, kuriuose stebėjimo laikotarpis buvo ilgesnis, akispūdjį mažinantis poveikis išliko iki 36 mėn. po intervencijos. 16 iš 19 publikacijų nustatytas reikšmingas antiglaukominių vaistų skaičiaus sumažėjimas. Dažniausiai registruotos

lengvos ir laikinos pooperacinės reakcijos, kurių dažnis siekė iki 40 proc., o sunkios komplikacijos, tokios kaip cistinė geltonosios dėmės edema, užsitęsusi hipotonija ar akies obuolio sunykimasis, buvo retos. Endoftalmito, simpatinės oftalmijos, tinklainės atšokos ar stiklakūnio kraujosruvos atvejų neregistruota. 10 iš 19 tyrimų reikšmingų pooperacinių regėjimo pokyčių nenustatyta. *Išvados.* Mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija yra veiksminga ir saugi glaukomos gydymo intervencija, užtikrinanti reikšmingą ilgalaikį akispūdžio sumažėjimą ir mažinanti antiglaukominių vaistų poreikį.

Reikšminiai žodžiai: mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija, mikropulsinė ciklofotokoaguliacija, MP-TSCPC, ciklodestrukcinės procedūros, glaukoma.

Micropulse Transscleral Cyclophotocoagulation in Glaucoma Treatment: A Literature Review

Abstract. *Introduction.* Glaucoma is a chronic, progressive optic neuropathy that leads to irreversible blindness if left untreated. Slowing disease progression relies on reducing intraocular pressure using medical and surgical approaches. In search of safer and more effective laser cyclodestructive techniques, micropulse transscleral cyclophotocoagulation (MP-TSCPC) was introduced. *Methods.* A literature review was conducted to evaluate the long-term efficacy and safety of MP-TSCPC using the PubMed, Embase, Web of Science, and Scopus databases. Nineteen publications, between 2010 and 2026, comprising 1 512 eyes after MP-TSCPC, were included. Treatment efficacy and safety were assessed at a follow-up of at least 12 months by analysing intraocular pressure reduction, changes in the number of glaucoma medications, and complication rates. *Results.* All studies demonstrated a statistically significant reduction in intraocular pressure from one week to 12 months following MP-TSCPC. The mean intraocular pressure reduction at 12 months ranged from 27.1% to 48.6% compared to baseline values. In studies with longer follow-ups, the pressure-lowering effect persisted for up to 36 months. Sixteen of the nineteen studies reported a significant reduction in the number of glaucoma medications. The most frequently reported adverse events were mild and transient with a frequency of up to 40%. Serious complications, including cystoid macular oedema, prolonged hypotony, and phthisis bulbi, were rare. There were no reported cases of endophthalmitis, sympathetic ophthalmia, retinal detachment, or vitreous haemorrhage. Ten of the nineteen studies did not indicate a significant change in postoperative vision. *Conclusions.* MP-TSCPC is an effective and safe intervention that provides a significant long-term reduction in intraocular pressure and decreases the need for glaucoma medications.

Keywords: micropulse transscleral cyclophotocoagulation, micropulse cyclophotocoagulation, MP-TSCPC, cyclodestruction procedures, glaucoma.

Įvadas

Glaukoma apibūdinama kaip lėtinė progresuojanti optinė neuropatija, išsivystanti dėl tinklainės ganglinių ląstelių ir jų aksonų degeneracijos [1]. Ši liga jau daugelį metų išlieka viena iš dažniausių negrįžtamo aklumo priežasčių pasaulyje [2]. Numatoma, kad 2040 m. glaukoma sergančių žmonių skaičius pasaulyje sieks 111,8 mln. [3]. Vienintelis veiksmingas ir pripažintas glaukomos progresavimo stabdymo būdas yra akispūdžio mažinimas [4]. Šis gydymas gali būti medikamentinis arba chirurginis. Abiem atvejais gydymo tikslas – sumažinti akispūdį, mažinant akies skysčio gamybą arba didinant jo nutekėjimą trabekuliniu ar uveoskleraliniu būdu [5]. Chirurginės intervencijos dažniausiai taikomos, kai nepavyksta sumažinti akispūdžio arba liga progresuoja nepaisant maksimalaus medikamentinio gydymo [1]. Daugelį metų vadinamuoju auksiniu chirurginio glaukomos gydymo standartu laikoma trabekulektomija, tačiau, atsižvelgiant į chirurginės intervencijos prieinamumą, glaukomos tipą, stadiją ir galimų pooperacinių komplikacijų riziką, gali būti taikomi ir kiti chirurginio gydymo metodai [2].

Ciklodestrukcinės procedūros, kaip vienos iš pirmųjų lazerinės chirurgijos intervencijų, mažinančių akies skysčio gamybą, glaukomai gydyti pradėtos taikyti nuo 1930 m. [6]. Ciklodestrukcijos tikslas – selektyviai sunaikinti krumplyno epitelio ląsteles, siekiant sumažinti, tačiau visiškai nesustabdyti akies skysčio gamybos. Iki šiol taikoma lazerinė tęstinės bangos transsklerinė diodinė ciklofotokoaguliacija (CW-TSCPC) dėl didelio komplikacijų dažnio istoriškai buvo laikoma paskutinio pasirinkimo chirurgine intervencija funkcionuojančioms akims, esant pažengusiai glaukomai, kai kitos gydymo galimybės jau panaudotos. Ši procedūra taip pat taikoma pacientams, kuriems dėl medicininių priežasčių netinka invazinės chirurginės intervencijos, arba tiems, kurie atsisako standartinio chirurginio gydymo [6, 7].

Tobulėjant moderniems gydymo metodams, ieškota būdų, kaip sumažinti lazerių sukeltą gretutinių audinių pažeidimą gydant akių ligas, siekiant sumažinti komplikacijų dažnį [8]. Ciklodestrukcijos atveju

taip pat siekta užtikrinti geresnę energijos koncentraciją ir tikslingesnę krumplyno ataugų pažeidimą [6, 7, 9]. Šiuo tikslu 2015 m. JAV maisto ir vaistų administracija (FDA) patvirtino naują lazerinės chirurgijos metodą – mikropulsinę transsklerinę ciklofotokoaguliaciją (MP-TSCPC) [10]. Skirtingai negu tęstinės bangos technologijoje, mikroimpulsų lazerio energija padalijama į greitus, pasikartojančius „įjungimo ir išjungimo“ ciklus (31,3 proc. darbo ciklas), todėl sukelia mažesnė aplinkinių audinių terminė pažeida. Šis metodas gali būti taikomas ir ankstyvesnių stadijų glaukomi gydyti [7, 9, 10]. MP-TSCPC įprastai atliekama operacinėje, taikant vietinę peribulbarinę arba bendrąją nejautrą. Išskiriami keli akispūdį mažinantys veikimo mechanizmai: akies skysčio gamybos sumažėjimas, padidėjęs akies skysčio nutekėjimas uveoskleraliniu ir trabekuliniu keliu. Vis dėlto geriausiai ištirtas ir labiausiai pagrįstas yra akies skysčio gamybos sumažinimo mechanizmas [11, 12].

Šios publikacijos tikslas – apžvelgti mikropulsinės transsklerinės ciklofotokoaguliacijos efektyvumą ir saugumą pacientams, sergantiems glaukoma, kuriems nustatytas nekompensuotas (netikslinis) akispūdis, nepaisant maksimaliai toleruojamo medikamentinio gydymo, nepriklausomai nuo anksčiau taikyto chirurginio glaukomos gydymo.

Metodai

Mokslinės literatūros apžvalga atlikta elektroninėse duomenų bazėse „PubMed“, „Embase“, „Web of Science“ ir „Scopus“, siekiant įvertinti ilgalaikį mikropulsinės transsklerinės ciklofotokoaguliacijos efektyvumą ir saugumą. Ieškota 2010–2026 m. publikuotų mokslinių tyrimų, vertinusių MP-TSCPC taikymą glaukoma sergantiems pacientams ne trumpesniu kaip 12 mėn. stebėjimo laikotarpiu. Paieškai naudoti reikšminiai žodžiai ir žodžių junginiai: „glaucoma“, „micropulse transscleral cyclophotocoagulation“, „micropulse cyclophotocoagulation“, „MP-TSCPC“, „micropulse CPC“. Į analizę įtraukti su žmonėmis atlikti biomedicininiai tyrimai, publikuoti anglų kalba, kuriuose nagrinėta įvairių tipų glaukoma. Tyrimų atrankai nebuvo taikomi glaukomos stadijos, pacientų lyties, amžiaus, vartojamų vaistų ar anksčiau taikytų chirurginių intervencijų kriterijai.

Nagrinėti įvairių tipų moksliniai straipsniai, išskyrus atvejų aprašymus ir literatūros apžvalgas. Į analizę neįtrauktos lyginamosios studijos, vertinusios skirtingas MP-TSCPC ir CW-TSCPC technikas bei parametrus, taip pat tyrimai, nagrinėję specifines pacientų grupes, galėjusias turėti įtakos rezultatams dėl gretutinių būklių ar ligos specifikos (pavyzdžiui, pediatriinė glaukoma, pacientai po keratoplastikos, vitrektomijos ar akių uždegimų). Taip pat neįtraukti tyrimai, kuriuose MP-TSCPC buvo taikyta kartu su papildomomis intervencijomis.

Rezultatai

Tyrimų atranka. Duomenų bazėse „PubMed“, „Embase“, „Web of Science“ ir „Scopus“ iš viso rastos 597 publikacijos, atitinkančios pasirinktus paieškos reikšminius žodžius. Pašalinus dublikatus, naudojant „Zotero“ programą, liko 323 publikacijos, kurios buvo vertinamos atsižvelgiant į pavadinimus.

Atmetus 222 publikacijas, kurių pavadinimai neatitiko tyrimo temos (kitos intervencijos, literatūros apžvalgos, klinikinių atvejų aprašymai, tyrimai su gyvūnais arba procedūros, taikytos tik specifinėms klinikinėms grupėms, pavyzdžiui, pediatriinė glaukoma sergantiems pacientams, pacientams po keratoplastikos, vitrektomijos ar akių uždegimų), toliau analizuotos 48 straipsnių santraukos ir visateksčiai straipsniai.

Atlikus santraukų vertinimą ir viso teksto analizę, 29 publikacijos atmestos dėl nepakankamos stebėjimo trukmės (<12 mėn.), dėl į tyrimą įtrauktų akių hipertenzijos atvejų (analizuoti tiek glaukomos, tiek akių

hipertenzijos atvejai), papildomų intervencijų taikymo, lyginamųjų studijų pobūdžio, pakartotinai rastų dublikatų arba publikavimo ne anglų kalba. Taip pat atmetos publikacijos, kuriose nebuvo aiškiai nurodytas intervencijai naudoto lazerio gamintojas. Galutinei kokybinei analizei atrinkta 19 publikacijų.

Tyrimų charakteristikos. Į galutinę apžvalgą įtraukta 19 publikacijų, paskelbtų 2010–2026 m. Tyrimuose iš viso analizuota 1 512 akių, paveiktų įvairių tipų glaukomos. Visi atrinkti tyrimai buvo nerandomizuoti stebimieji: 11 retrospektyviųjų ir 8 perspektyvieji. Atskirų randomizuotų kontroliuojamųjų klinikinių tyrimų, vertinančių tik MP-TSCPC efektyvumą ir saugumą glaukomos atveju bei apimančių ≥ 12 mėn. stebėjimo laikotarpį, nebuvo rasta. Stebėjimo trukmė svyravo nuo 12 iki 36 mėn., o imčių dydis – nuo 21 iki 205 akių. Išsami tyrimų charakteristika pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Tyrimų, įtrauktų į apžvalgą, charakteristika

Autoriai	Metai	Šalis	Tyrimo dizainas	Akių skaičius	Stebėjimo trukmė (mėn.)
Al Habash et al. [13]	2019	Saudo Arabija	perspektyvusis	71	24
Basto et al. [14]	2023	Portugalija	retrospektyvusis	61	24
Chang et al. [15]	2021	Taivanas	retrospektyvusis	60	12
Chauhan et al. [16]	2023	Indija	perspektyvusis	33	12
Chen et al. [17]	2021	Taivanas	retrospektyvusis	60	24
de Crom et al. [18]	2020	Nyderlandai	perspektyvusis	141	12
de Vries et al. [19]	2022	Nyderlandai	perspektyvusis	96	24
Jammal et al. [20]	2019	Brazilija	perspektyvusis	21	12
Laruelle et al. [21]	2021	Belgija	retrospektyvusis	55	12
Lim et al. [22]	2021	Singapūras	retrospektyvusis	207	24
Lima et al. [23]	2026	Brazilija	retrospektyvusis	101	12
Preda et al. [24]	2020	Iranas	perspektyvusis	100	18
Radhakrishnan et al. [25]	2020	Nenurodyta	retrospektyvusis	167	12
Sarrafpour et al. [26]	2019	JAV	retrospektyvusis	73	12
Tan et al. [10]	2010	Singapūras	perspektyvusis	40	18
Tong et al. [27]	2021	Singapūras	retrospektyvusis	55	12
Valle et al. [28]	2022	Ispanija	retrospektyvusis	35	12
Varikuti et al. [29]	2019	JAV	retrospektyvusis	61	12
Zaarour et al. [30]	2019	Libanas	perspektyvusis	75	15

Pacientų, glaukomos ir gydymo charakteristika

Visuose į analizę įtrauktuose tyrimuose MP-TSCPC atlikta pacientams, kuriems diagnozuota glaukoma. Glaukomos stadija svyravo nuo lengvos iki pažengusios, o daugeliu atvejų glaukoma apibūdinta kaip refrakterinė, t. y. nepakankamai kontroliuojamas akispūdis, nepaisant maksimaliai toleruojamo medikamentinio gydymo, esant vienai ar kelioms nesėkmingoms glaukomos chirurginėms intervencijoms arba jų nesant. Dažniausi glaukomos tipai: pirminė atviro kampo glaukoma, neovaskulinė glaukoma ir pseudoeksfoliacinė glaukoma. Visuose tyrimuose MP-TSCPC atlikta naudojant „Iridex Cyco G6 Glaucoma Laser Machine“ („Mountain View“, Kalifornija, Jungtinės Amerikos Valstijos) lazerį kartu su „MicroPulse P3™“ antgaliu [13–30], išskyrus Tano ir kt. [10] tyrimą, kuriame naudotas senasis G antgalis.

Tyrimuose taikyta 2 000 mW/cm² energija ir 31,3 proc. darbo ciklas (mikroimpulsas su 0,5 ms lazerio įjungimo ir 1,1 ms lazerio išjungimo trukme) [10, 13–25, 27–30]. Tik viename tyrime, kai regėjimo aštrumas svyravo nuo 20/80 iki šviesos jutimo, energija didinta atitinkamai nuo 2 250 iki 2 500 mW [26]. Gydymo trukmė svyravo nuo 100 iki 320 s, priklausomai nuo glaukomos sunkumo ir chirurgo sprendimo [10, 13–30].

MP-TSCPC specifikacija

Naudojant MP-TSCPC, „Iridex Cyclo G6“ lazeriu su MP3 šviesolaidiniu antgaliu skleidžiami 810 nm bangos ilgio diodinio lazerio impulsai. Antgalis turi kontaktinį pusrutulio formos pagrindą, sukurtą taip, kad užtikrintų tikslią padėtį 3 mm nuo limbo ir nukreiptų lazerio spindulius į krumplyno lygiojo raumens (*pars plana*) sritį. Intervencijos metu skleidžiami pasikartojantys reguliuojamos galios diodinio lazerio impulsai (dažniausiai 2 000 mW/cm²), veikiantys darbo ciklais. Įprastai taikomas 31,33 proc. ciklas: lazeris įjungiamas 0,5 ms, o išjungiamas 1,1 ms [12]. Chirurgas procedūros metu antgalį judina nepertraukiamu braukiamuoju arba slydimo judesiu viršutiniame ir apatiniame akies pusrutuliuose (180° arba 360°), vengdamas 3 ir 9 valandos padėčių, siekdamas apsaugoti krumplyno neurovaskulines struktūras nuo pažeidimo. Taip pat vengiama filtracinės pagalvėlės ar kitų junginės išplonėjimo sričių. Bendroji gydymo trukmė tyrimuose svyruoja nuo 100 iki 360 sekundžių, o konkreti trukmė daugeliu atvejų parenkama chirurgo, atsižvelgiant į klinikinę situaciją [31]. Intervencija atliekama operacinėje, taikant vietinę, dažniausiai peribulbarinę, arba bendrąją nejautrą. Kartais naudojamas išorinis apšvietimo šaltinis, leidžiantis tiksliau lokalizuoti krumplyno padėtį, ypač vaikams ar pacientams, kurių akies ašies ilgis yra padidėjęs, pavyzdžiui, esant didelei trumparegystei [12]. Pooperaciniu laikotarpiu skiriami vietiniai kortikosteroidai, prireikūs kartu su nesteroidiniais priešūždegiminiais lašais. Antiglaukominis medikamentinis gydymas pooperaciniu laikotarpiu tęsiamas, o vėliau, gydytojo nuožiūra, vaistų vartojimas gali būti palaipsniui mažinamas arba visiškai nutraukiamas [12, 31].

Aprašyti keli MP-TSCPC veikimo mechanizmai. Pagrindinis iš jų, kaip ir CW-TSCPC atveju, yra akies skysčio gamybos mažinimas. 810 nm bangos ilgio diodinio lazerio spindulį daugiausia sugeria krumplyno pigmentinis epitelis, todėl manoma, kad „įjungimo“ ciklo metu pasiekiamas krumplyno pigmentinio epitelio koaguliacijos slenkstis, o „išjungimo“ ciklo metu ribojamas šilumos kaupimasis ir sudaromos sąlygos šilumai išsisklaidyti gretimose ląstelėse, taip mažiau pažeidžiant aplinkines struktūras. Akies skysčio gamyba sumažinama nesukeliant makroskopinių audinių pokyčių. Papildomu veikimo mechanizmu laikomas padidėjęs akies skysčio nutekėjimas uveoskleraliniu keliu. Tai siejama su gyslainės storio padidėjimu pacientams, sėkmingai gydytiems MP-TSCPC. Taip pat aprašomas lazerio poveikis išilginėms krumplyno skaiduloms, dėl kurio krumplynas susitraukia ir paslenka odenos pentiną. Dėl pakitusios trabekulinio tinklo konfigūracijos padidėja akies skysčio nutekėjimas per trabekulinį tinklą [12].

Efektyvumo rezultatai

Visose į apžvalgą įtrauktose publikacijose nustatytas statistiškai reikšmingas akispūdžio sumažėjimas praėjus nuo 1 sav. iki 12 mėn. po MP-TSCPC [10, 13–30] (2 lentelė). Daugelyje tyrimų viena iš gydymo sėkmės apibrėžčių, remiantis Pasaulinės glaukomos asociacijos gairėmis, buvo akispūdis tarp 6 ir 21 mmHg ir (arba) bent 20 proc. akispūdžio sumažėjimas nuo pradinio [14–19, 22, 23, 25–30]. Praėjus 12 mėn. po intervencijos, gydymo sėkmė svyravo nuo 41 iki 85,42 proc. [14–19, 22, 23, 25–30]. Keturiuose publikacijose gydymo sėkmė apibrėžta kaip akispūdis tarp 6 ir 21 mmHg ir (arba) >30 proc.

akispūdzio sumažėjimas nuo pradinio [10, 13, 20, 24]. Al Habashas ir kt. [13] sėkmės procentą pateikė Kaplano ir Meierio kreivėje – po 12 mėn. jis viršijo 90 proc. Preda ir kt. [24] gydymo sėkmę vertino tik po 18 mėn. ir atskirose grupėse nustatė skirtingus rezultatus: 90,91 proc., kai pradinis akispūdis buvo ≤ 26 mmHg, 70,00 proc., kai pradinis akispūdis svyravo tarp 26–30 mmHg, 65,63 proc., kai pradinis akispūdis buvo 31–49 mmHg, ir 84,62 proc., kai pradinis akispūdis buvo > 50 mmHg. Jammalas ir kt. [20] nurodė 66,7 proc. gydymo sėkmę po 12 mėn., o Tano ir kt. [10] tyrime gydymo sėkmę po metų siekė 80 proc. Apibendrinant publikacijų duomenis, galima teigti, kad prieš operaciją akispūdis svyravo nuo $21,9 \pm 8,4$ mmHg iki $40,1 \pm 11,6$ mmHg, o absoliutus akispūdzio sumažėjimas, palyginti su pradiniu, siekė nuo $13,8 \pm 7,0$ mmHg iki $24,7 \pm 10,8$ mmHg [10, 13–30] (rezultatai pateikiami 2 lentelėje).

Tyrimuose, kuriuose stebėjimo laikotarpis buvo ilgesnis negu 12 mėn., nurodyta, kad akispūdzio kontrolė išliko stabili [10, 13, 14, 17, 19, 22, 24, 30]. Per 15 mėn. stebėjimo laikotarpį akispūdis sumažėjo nuo bazinio 26,0 mmHg iki 14,8 mmHg [30]. Tyrimuose, kuriuose aprašytas 18 mėn. stebėjimo laikotarpis, akispūdis sumažėjo nuo vidutinio bazinio 39,14 mmHg iki 22,77 mmHg [24] ir nuo 40,1 mmHg iki 24,6 mmHg [10]. Tyrimuose, kuriuose pacientai stebėti 24 mėn., vidutinis akispūdzio sumažėjimas nustatytas nuo 24,9 iki 17,5 mmHg [14], nuo 34,0 iki 18,2 mmHg [17], nuo 23,5 iki 16,8 mmHg [18] ir nuo 26,6 iki 20,3 mmHg [19]. Limas ir kt. [22] aprašė ilgiausią – 36 mėn. – stebėjimo laikotarpį, kurio metu akispūdis vidutiniškai sumažėjo nuo 31,5 iki 23,3 mmHg.

16 iš 19 tyrimų nustatytas reikšmingas antiglaukominių vaistų skaičiaus sumažėjimas [10, 13–18, 20, 22–26, 28–30]. Vidutiniškai vaistų skaičius per 12 mėn. po intervencijos sumažėjo nuo 0,45 iki 2,29 preparato (2 lentelė). Tanas ir kt. [10] bei Preda ir kt. [24] nurodė, kad antiglaukominių vaistų skaičius statistiškai reikšmingai sumažėjo tik po 18 mėn. Statistiškai reikšmingo antiglaukominių vaistų skaičiaus pokyčio po 12 mėn. nenustatyta tik trijuose tyrimuose [19, 21, 27]. Vis dėlto Laruelle ir kt. [21] tyrime 12 mėn. stebėjimo laikotarpį baigė tik nedidelė pacientų dalis (18,8 %), o de Vriesas ir kt. [19] nurodė, kad vaistų poreikis buvo sumažėjęs po 6 mėn., tačiau po 12 mėn. statistiškai reikšmingo pokyčio nebuvo nustatyta. Kai kuriuose tyrimuose atskirai vertintas peroralinio acetazolamido poreikis. Basto ir kt. [14] nurodė, kad po 12 mėn. peroralinio acetazolamido vartojimą galėjo nutraukti 89,5 proc. pacientų. De Cromas ir kt. [18] aprašė acetazolamido vartojimo sumažėjimą nuo 39,7 iki 12,8 proc., de Vriesas ir kt. [19] – nuo 29 iki 9 proc., Zaarouras ir kt. [30] – nuo 57,3 iki 30,0 proc., o Al Habashas ir kt. [13] – nuo 62 iki 0 proc. Laruelle ir kt. [21] nurodė, kad pacientų, vartojusių peroralinį acetazolamidą prieš operaciją, skaičius sumažėjo 60 proc., o Sarrafpouras ir kt. [26] nustatė 73,3 proc. sumažėjimą.

2 lentelė. Efektyvumo rezultatai

Autoriai	Pradinis akispūdis, mmHg	Akispūdzio sumažėjimas po 12 mėn., proc.	Absoliutus akispūdzio sumažėjimas po 12 mėn., mmHg	Pradinis vaistų skaičius	Vaistų skaičius po 12 mėn.
Al Habash et al. [13]	35,0	52 %	16,0	5	4
Basto et al. [14]	$24,9 \pm 8,6$	27,10 %	16,1	4	3,4
Chang et al. [15]	$27,8 \pm 7,6$	27,30 %	$20,2 \pm 4,6$	3,3	1,9
Chauhan et al. [16]	$25,7 \pm 5,3$	30,30 %	$17,9 \pm 4,6$	4,4	2,9
Chen et al. [17]	$34,0 \pm 12,0$	48,60 %	$17,5 \pm 6,4$	3,8	2,5
de Crom et al. [18]	$23,5 \pm 9,4$	27,80 %	$16,8 \pm 8,4$	3,3	2,6
de Vries et al. [19]	$26,6 \pm 10,8$	28,10 %	$15,7 \pm 7,5$	3,2	2,6

Autoriai	Pradinis akispūdis, mmHg	Akispūdžio sumažėjimas po 12 mėn., proc.	Absoliutus akispūdžio sumažėjimas po 12 mėn., mmHg	Pradinis vaistų skaičius	Vaistų skaičius po 12 mėn.
Jammal et al. [20]	33,38±15,95	41,59 %	18,9	3,48	2
Laruelle et al. [21]	24,19	N/d	19,5	3,08	3
Lim et al. [22]	31,5±12,0	30,20 %	22,1±10,3	3,3	2,6
Lima et al. [23]	26,19±6,77	45,10 %	14,40±6,10	3,37	1,08
Preda et al. [24]	39,14±13,84	41,85 %	22,76±8,14	2,63	1,78*
Radhakrishnan et al. [25]	21,9±8,4	32 %	14,8±4,3	3,6	3,1
Sarrafpour et al. [26]	25,5±9,4	46 %	13,8±7,0	3,1	2,5
Tan et al. [10]	40,1±11,6	N/d	24,7±10,8	2,1	1,3*
Tong et al. [27]	24,8±1,0	N/d	21,8±1,1	2,9	2,9
Valle et al. [28]	31,8±10,5	31,10 %	21,9±10,6	3	2,3
Varikuti et al. [29]	25,69±5,63	40,20 %	15,38±3,74	N/d	N/d
Zaarour et al. [30]	26,0±7,91	31,80 %	15,7±5,32	3,53	3,08

* Rezultatai po 18 mėn.

Saugumo rezultatai

Visose publikacijose, išskyrus Laruelle ir kt. [21], aprašomos MP-TSCPC komplikacijos, dar įvardijamos kaip šalutinis poveikis [10, 13–20, 22–30]. Bendrasis komplikacijų dažnis nurodytas tik de Cromo ir kt. [18] tyrime (3,5 %). Visose publikacijose pažymima, kad komplikacijos dažniausiai buvo lengvos ir praeinančios. Dažniausiai nustatytas pooperacinis uždegimas, įprastai priekinėje kameroje. Jis aprašytas 11 tyrimų [10, 13–18, 20, 22, 24, 29, 30], o jo dažnis svyravo nuo 3,3 iki 33,3 proc. [14–17, 20, 22, 29, 30]. Praeinantis vyzdžio išsiplėtimas aprašytas trijuose tyrimuose [13, 15, 25], jo dažnis siekė 28,3 proc. [15]. Pojungio kraujosruvos nustatytos keturiuose tyrimuose [15, 17, 22, 23], jų dažnis svyravo nuo 1,4 iki 8,3 proc. Akispūdžio padidėjimas nustatytas 6,7 proc. atvejų [15], o nedidelis pooperacinis skausmas pirmą pooperacinę dieną pasireiškė 18,4 proc. pacientų [10]. Kataraktos progresavimas nustatytas 6,1–40,0 proc. atvejų [15, 29]. Ragenos dekomensacija ir (ar) edema nustatyta 2,97–7,7 proc., o ragenos epitelio defektai – 2,4 proc. atvejų [14, 22, 23]. Minėtina, kad ragenos epitelio defektai dažniau pasireiškė pacientams, kuriems prieš operaciją buvo nustatyta ragenos pažeidimų [14]. Chenas ir kt. [17] aprašė ilgalaikį vyzdžio išsiplėtimą dviem pacientams. Išsiplėtimas išliko ir po dvejų metų, tačiau regėjimo aštrumas, palyginti su priešoperaciniu laikotarpiu, nepakito. Radhakrishnana ir kt. [25] duomenimis, vyzdžio išsiplėtimas kaip komplikacija pasireiškė 18 atvejų (11 proc. gydytų akių). Septyniais iš 18 atvejų (39 %) jis išnyko, o laikas iki išnykimo svyravo nuo 1 iki 28 sav. Likusiais 11 iš 18 atvejų (61 %) vyzdžio išsiplėtimas išliko. Radhakrishnana ir kt. [25] kaip komplikaciją aprašė ir paviršinį taškinį keratitą, nustatytą 7 proc. akių. Septyniais iš 11 atvejų jis išnyko, o išgijimo trukmė svyravo nuo 2 sav. iki 1 m. Likusiais keturiais atvejais paviršinis taškinis keratitas išliko iki paskutinio stebėjimo vizito.

Sunkios komplikacijos buvo retos. Neregistruota nė vieno pooperacinio endoftalmito, simpatinės oftalmijos, tinklainės atšokos ar stiklakūnio kraujosruvos atvejo [10, 13–20, 22–30]. Dažniausiai minima hifema [10, 19, 22]. Tanas ir kt. [10] nurodė 17,5 proc. hifemos dažnį, visi pacientai sirgo neovaskuline glaukoma. Cistinė geltonosios dėmės edema aprašyta šešiuose tyrimuose – iš viso 11 pacientų

[14, 16, 18, 22, 23, 29], jos dažnis svyravo nuo 0,99 iki 3,3 proc. [14, 16, 22, 23, 29]. Ankstyva trumpalaikė hipotonija aprašyta šešiais atvejais [15, 17, 20, 22]. Chenas ir kt. [22] bei Limas ir kt. [17] nurodė atitinkamai 3,3 proc. ir 1 proc. dažnį. Trumpalaikė hipotoninė makulopatija aprašyta tik dviejuose tyrimuose – iš viso dviejose akyse [18, 29]. Visose publikacijose registruoti keturi užsitęsios ir (ar) ilgalaikės hipotonijos atvejai [18, 22, 28, 29], o trimis atvejais hipotonijos trukmė nebuvo nurodyta [24].

Dviejuose tyrimuose, į kuriuos buvo įtraukta 40 ir 96 akys, fiksuota po vieną akies pašalinimo (evisceracijos) atvejį [10, 19]. Vienu atveju evisceracija atlikta dėl ragenos perforacijos [10], kitu – dėl nuolatinio akies skausmo ir dirginimo [19]. Valle ir kt. [28] nurodė, kad vienoje akyje, praėjus savaitei po MP-TSCPC, išsivystė pooperacinė neurotrofinė keratopatija, kuriai gydyti prireikė autologinio serumo ir amniono membranos transplantacijos. De Cromas ir kt. [18] aprašė vieną ragenos transplantato atmetimo atvejį. Limo ir kt. [22] tyrimas buvo vienintelis, kuriame kaip komplikacija aprašytas akies obuolio sunykimasis (*phthisis bulbi*) po intervencijos. Ši komplikacija pasireiškė septyniose akyse (3,4 proc.). Iš jų penki atvejai (71,4 %) nustatyti pacientams, sirgusiems neovaskuline glaukoma, vienas atvejis (14,3 %) – pacientui, kuriam glaukoma buvo išsivysčiusi po keratoplastikos, o dar vienas atvejis (14,3 %) nustatytas esant antrinei uždaro kampo glaukoma.

Regėjimo aštrumo pokyčiai

10 iš 19 tyrimų nenurodyta statistiškai reikšmingų regėjimo pokyčių po MP-TSCPC, palyginti su priešoperaciniu geriausiai koreguotu regėjimo aštrumu (GKRA) [10, 13–17, 19, 27–29]. De Cromas ir kt. [18] nustatė GKRA sumažėjimą >2 eilutėmis Snelleno lentelėje po 1 ir 2 metų (atitinkamai 24,7 proc. ir 25 proc.). Dažniausios regėjimo aštrumo pablogėjimo priežastys: tinklainės ligos, katarakta ir glaukomos progresavimas. Sarrafpouras ir kt. [26] nurodė, kad 37,5 proc. pacientų po operacijos, praėjus 1 mėn., prarado ≥ 2 eilutes Snelleno lentelėje, tačiau daugumai pacientų regėjimo aštrumas atsistatė per 3–6 pooperacinius mėnesius. Limo ir kt. [22] atlikto tyrimo duomenimis, 29 akyse (14,0 %) GKRA sumažėjo ≥ 2 eilutėmis, o Lima ir kt. [23] pažymėjo, kad regėjimo aštrumas pagerėjo 19,8 proc. akių, išliko stabilus 60,3 proc. akių ir pablogėjo 19,9 proc. akių. Jammalas ir kt. [20] aprašė vieno paciento regėjimo pablogėjimą trečio pooperacinio mėnesio vizito metu – nuo rankos judesių matymo iki šviesos jutimo. Zaarouras ir kt. [30] pažymėjo, kad nė viena akis visiškai neprarado regėjimo, tačiau trumpu pooperaciniu laikotarpiu, stebint iki 1 mėn., nustatytas nedidelis, bet statistiškai reikšmingas GKRA sumažėjimas, o vėlesniais stebėjimo laikotarpiais GKRA išliko stabilus. Radhakrishnanas ir kt. [25] nurodė, kad dvi akys prarado šviesos jutimą. Taip pat vienam pacientui, kuriam atlikta abipusė MP-TSCPC, antroje akyje išsivystė sunkios komplikacijos, dėl kurių regėjimo aštrumas reikšmingai ir negrįžtamai pablogėjo – nuo 20/30 prieš intervenciją iki 20/200 paskutinio stebėjimo metu.

Diskusija

Teoriškai mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija dėl trumpų „įjungimo“ ir „išjungimo“ ciklų sumažina akių komplikacijų riziką nesusilpnindama akispūdį mažinančio poveikio [10, 12, 32]. „Įjungimo“ ciklo metu lazerio impulsai, skleidžiami artimojoje infraraudonųjų spindulių srityje, esant 810 nm bangos ilgiui, sugeriami krumplyno pigmentiniame epitelyje esančio melanino, todėl kaupiasi šiluma ir sukeliamas krumplyno fotokoaguliacija. „Išjungimo“ ciklo metu greta krumplyno esančios struktūros atvėsta, taip jos apsaugomos nuo terminio pažeidimo [10, 32].

Apžvalgos duomenys rodo, kad MP-TSCPC yra veiksminga intervencija, užtikrinanti kliniškai reikšmingą akispūdžio sumažėjimą ir mažinanti antiglaukominių vaistų poreikį po 12 mėn., o dalyje tyrimų

šis poveikis išlieka ir ilgesniu stebėjimo laikotarpiu. Visuose tyrimuose nustatytas statistiškai reikšmingas akispūdžio sumažėjimas per 12 mėn. laikotarpį – vidutiniškai nuo 27,10 iki 48,60 proc., palyginti su pradinėmis reikšmėmis. Akispūdžio sumažėjimo ribos svyravo gana plačiame intervale, atspindėdamos tiriamųjų populiacijų ir procedūros parametrų heterogeniškumą. Vertinant antiglaukominių vaistų poreikį, net 16 iš 19 tyrimų nustatytas statistiškai reikšmingas vietiškai vartojamų antiglaukominių vaistų poreikio sumažėjimas, o septyniuose tyrimuose papildomai nurodytas ir sisteminio peroralinio acetazolamido poreikio sumažėjimas.

Kalbant apie saugumą, ciklodestrukcinės lazerinės intervencijos dažniausiai buvo pasirenkamos kaip rezervinės, baiminantis sunkių komplikacijų, tokių kaip regėjimo praradimas, cistinė geltonosios dėmės edema, neurotrofiniai ragenos paviršiaus pažeidimai, hipotonija, gyslainės atšoka, lėtiniai uždegimai, tinklainės atšoka, stiklakūnio kraujosruva ar akies obuolio sunykimas [33]. Apibendrinant apžvalgos saugumo rezultatus, galima teigti, kad dažniausiai pasireiškė lengvi ir praeinantys šalutiniai reiškiniai, o sunkios komplikacijos buvo retos ir dažniau susijusios su pažengusia liga ar sudėtinga priešoperacine būkle. Basto ir kt. [14] nurodė du cistinės geltonosios dėmės edemos atvejus, tačiau abu pacientai jau prieš intervenciją sirgo diabetine geltonosios dėmės edema. Hipotonijos atvejais pacientų priešoperacinė būklė taip pat dažniau buvo sunkesnė. Vienu iš aprašytų hipotonijos atvejų, praėjus 30 dienų po operacijos, akispūdis buvo sumažėjęs iki 0 mmHg, tačiau, pacientą vietiškai gydant atropino ir kortikosteroidų lašais, paskutinio stebėjimo vizito metu akispūdis padidėjo iki 9–10 mmHg. Šio paciento pradinis akispūdis buvo didžiausias (78 mmHg), o MP-TSCPC gydymo trukmė – ilgiausia (160 s per 180°) [20]. De Cromo ir kt. [18] tyrime dėl neovaskulinės glaukomos gydytam pacientui, kuriam pasireiškė užsitęsusi hiptonija, diagnozuota įgimta katarakta, anamnezėje dokumentuota afakija ir atlikta vitrektomija po tinklainės atšokos, tačiau hipotoninės makulopatijos požymių ar pacientų skundų dėl regėjimo aštrumo nenustatyta. Du pooperaciniai MP-TSCPC atvejai baigėsi akies pašalinimu, tačiau abiem pacientams regėjimo prognozė buvo bloga dar prieš intervenciją. De Vrieso ir kt. [19] aprašytam pacientui, sirgusiam galutinės stadijos glaukoma, akies vidinių dangalų pašalinimo (evisceracijos) operacija atlikta dėl nuolatinio akies skausmo ir dirginimo, praėjus 10 mėn. po MP-TSCPC, tačiau šio paciento regėjimo aštrumas dar prieš intervenciją buvo lygus 0. Tano ir kt. [10] aprašyto paciento regėjimo aštrumas prieš MP-TSCPC taip pat buvo lygus 0, o po šešių savaičių atlikta evisceracija dėl ragenos perforacijos, atsiradusios dėl infekcijos, esant jau buvusiai pūslinei keratopatijai. Akies obuolio sunykimą kaip komplikaciją aprašytas tik viename tyrime – septyniose akyse, kurių regėjimo aštrumas prieš operacinį gydymą jau buvo labai sumažėjęs [22]. Nė viename tyrime nefiksuota endoftalmito, simpatinės oftalmijos, tinklainės atšokos ar stiklakūnio kraujosruvos atvejų, o regėjimo aštrumo pablogėjimas ≥ 2 eilutėmis pasireiškė tik nedidelei daliai akių ir dažniausiai buvo susijęs su ligos sunkumu ar gretutinėmis ragenos ir tinklainės patologijomis.

Palyginti su nuolatinės bangos ciklofotokoaguliacija, MP-TSCPC pasižymi didesniu saugumu, išlaikydama reikšmingą akispūdžio mažinimo efektą [34]. Johansyahas ir Bambangas [34] atliko sisteminę literatūros apžvalgą, kurioje vertino MP-TSCPC veiksmingumą ir saugumą, palyginti su CW-TSCPC, gydant glaukomą. Į apžvalgą įtrauktose studijose gydymo sėkmė apibrėžta tais pačiais kriterijais, kurie taikyti ir šioje apžvalgoje: pooperaciniu akispūdžiu tarp 6 ir 21 mmHg arba 20 proc. ar 30 proc. akispūdžio sumažėjimu nuo pradinio. Keturiuose iš šešių tyrimų sėkmės procentas po MP-TSCPC buvo didesnis, palyginti su CW-TSCPC, o studijose, kuriose vertintas komplikacijų dažnis, MP-TSCPC taip pat pasižymėjo geresniais rezultatais [34]. Panašias išvadas pateikė ir Ling ir kt. [35] sisteminėje apžvalgoje bei metaanalizėje, vertinusioje MP-TSCPC veiksmingumą ir saugumą glaukoma sergantiems pacientams. Rezultatai parodė, kad MP-TSCPC per 12 mėn. reikšmingai sumažino akispūdį tiek vartojant antiglaukominius vaistus,

ties jų nevarojant. Palyginus rezultatus su CW-TSCPC (atsižvelgiant į akispūdžio sumažėjimą, antiglaukominių medikamentų skaičiaus mažėjimą, pakartotinio gydymo dažnį ir komplikacijas), nustatyta, kad MP-TSCPC buvo pranašesnė dėl didesnio saugumo ir mažesnio pakartotinio gydymo poreikio. Skirtingai negu visiškos krumplyno destruktijos atveju, kai, atliekant CW-TSCPC, slopinama akies skysčio gamyba, MP-TSCPC metu krumplynas pažeidžiamas tik iš dalies, todėl ne tik mažinama akies skysčio gamyba, bet ir gali pagerėti jo nutekėjimas uveoskleraliniu keliu bei per trabekulinį tinklą [12, 35]. Šie duomenys leidžia MP-TSCPC vertinti kaip saugesnę destruktinių procedūrų alternatyvą ir taikyti ją ankstyvesnėse glaukomos stadijose, esant geresniam centriniam regėjimo aštrumui, taip pat pacientams, kuriems kitų chirurginių intervencijų metu gali būti didesnė komplikacijų rizika.

Vis dėlto rezultatų interpretaciją riboja metodologiniai aspektai: retrospektyvusis daugumos tyrimų pobūdis, randomizacijos stoka, ne visų pacientų užbaigtas stebėjimo laikotarpis bei tai, kad intervencijas atliko skirtingi chirurgai, dažnai savarankiškai, atsižvelgdami į klinikinę situaciją, parinkdavę MP-TSCPC energijos parametrus ir ekspozicijos trukmę. Be to, tyrimuose vertinti pacientai, sirgę skirtingų tipų ir stadijų glaukoma, jų priešoperacinė būklė taip pat buvo nevienoda. Tiesioginį rezultatų palyginamumą apsunkina ir nevienodi gydymo sėkmės kriterijai. Ateityje būtina standartizuoti procedūros parametrus bei gydymo sėkmės apibrėžimus ir atlikti didesnius perspektyviusius randomizuotus kontroliuojamus tyrimus.

Išvados

Mikropulsinė transsklerinė ciklofotokoaguliacija yra veiksminga lazerinė chirurginė intervencija, taikytina glaukamai gydyti, užtikrinanti reikšmingą ilgalaikį akispūdžio sumažėjimą ir leidžianti sumažinti atiglaukominių vaistų poreikį. Kartu tai yra santykinai saugi intervencija, nes dažniausiai nustatomos lengvos šalutinės reakcijos, o sunkios komplikacijos retos. Dėl šių priežasčių MP-TSCPC gali atverti naujas galimybes taikyti ciklodestrukcines procedūras esant ne tik pažengusioms, bet ir ankstyvesnėms glaukomos stadijoms. Vis dėlto pooperaciniai MP-TSCPC rezultatai priklauso nuo glaukomos pobūdžio ir priešoperacinės akies būklės, todėl, siekiant apibrėžti aiškas, skirtingoms klinikinėms situacijoms pritaikytas MP-TSCPC indikacijas ir gydymo parametrus, reikalingi tolesni moksliniai tyrimai.

Autorių indėlis

Jurgita Kolesnikovė – konceptualizacija, metodologija, tyrimas, pirminio teksto rengimas, redagavimas, vizualizacija.

Aistė Kadziauskienė – konceptualizacija, tyrimo priežiūra, rezultatų patvirtinimas, teksto peržiūra ir redagavimas.

Rimvydas Ašoklis – konceptualizacija, teksto peržiūra ir redagavimas.

Literatūra

1. Schuster AK, Erb C, Hoffmann EM, Dietlein T, Pfeiffer N. The diagnosis and treatment of glaucoma. *Dtsch Arztebl Int.* 2020; 117(13): 225–234. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0225.
2. Carter L, Herndon LW. Minimally invasive glaucoma surgery: Past, present, and future. *Adv Ophthalmol Optom* 2023; 8(1): 239–248. DOI: 10.1016/j.yao.2023.03.005.
3. Allison K, Patel D, Alabi O. Epidemiology of glaucoma: The past, present, and predictions for the future. *Cureus* 12(11): e11686. DOI: 10.7759/cureus.11686.
4. Heijl A, Leske MC, Bengtsson B, Hyman L, Bengtsson B, Hussein M; Early Manifest Glaucoma Trial Group.

Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: Results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(10): 1268–1279. DOI: 10.1001/archophth.120.10.1268.

5. Mastrobattista JM, Luntz M. Ciliary body ablation: Where are we and how did we get here? *Surv Ophthalmol* 1996; 41(3): 193–213. DOI: 10.1016/s0039-6257(96)80023-3.

6. Ndulue JK, Rahmatnejad K, Sanvicente C, Wizov SS, Moster MR. Evolution of cyclophotocoagulation. *J Ophthalmic Vis Res* 2018; 13(1): 55–61. DOI: 10.4103/jovr.jovr_190_17.

7. Ansari E, Gandhewar J. Long-term efficacy and visual acuity following transscleral diode laser photocoagulation in cases of refractory and non-refractory glaucoma. *Eye* 2007; 21(7): 936–940. DOI: 10.1038/sj.eye.6702345.

8. Yun SH, Adelman RA. Recent developments in laser treatment of diabetic retinopathy. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2015; 22(2): 157–163. DOI: 10.4103/0974-9233.150633.

9. Kuchar S, Moster MR, Reamer CB, Waisbourd M. Treatment outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in advanced glaucoma. *Lasers Med Sci* 2016; 31(2): 393–396. DOI: 10.1007/s10103-015-1856-9.

10. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, Lim ZIL, See JLS, Chew PT. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010; 38(3): 266–272. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2010.02238.x.

11. Dastiridou AI, Katsanos A, Denis P, Francis BA, Mikropoulos DG, Teus MA, Konstas AG. Cyclodestructive procedures in glaucoma: A review of current and emerging options. *Adv Ther* 2018; 35(12): 2103–2127. DOI: 10.1007/s12325-018-0837-3.

12. Abdelmassih Y, Tomey K, Khoueir Z. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *J Curr Glaucoma Pract* 2021; 15(1): 1–7. DOI: 10.5005/jp-journals-10078-1298.

13. Al Habash A, AlAhmadi AS. Outcome Of MicroPulse® transscleral photocoagulation in different types of glaucoma. *Clin Ophthalmol* 2019; 13: 2353–2360. DOI: 10.2147/OPTH.S226554.

14. Basto RC, Almeida J, Roque JN, Henriques SP, Gonçalves AS, Vaz FT, Carvalho H, Prieto I. Clinical outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation: 2 years of experience in Portuguese eyes. *J Curr Glaucoma Pract* 2023; 17(1): 30–36. DOI: 10.5005/jp-journals-10078-1395.

15. Chang HL, Chao SC, Lee MT, Lin HY. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation as primary surgical treatment for primary open angle glaucoma in Taiwan during the COVID-19 pandemic. *Healthcare* 2021; 9(11): 1563. DOI: 10.3390/healthcare9111563.

16. Chauhan D, Midha N, Mahalingam K, Angmo D, Sihota R, Gupta S, Chawla R, Dada T. Efficacy of micropulse laser cyclophotocoagulation therapy in primary angle closure glaucoma. *J Glaucoma* 2023; 32(12): 1011–1017. DOI: 10.1097/IJG.0000000000002322.

17. Chen HSL, Yeh PH, Yeh CT, Su WW, Lee YS, Chuang LH, Shen SC, Wu WC. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation in a Taiwanese population: 2-year clinical outcomes and prognostic factors. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2022; 260(4): 1265–1273. DOI: 10.1007/s00417-021-05468-7.

18. de Crom R, Beckers H, Slangen C, Kujovic-Aleksov S, Webers C. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation with the Iridex® Micropulse P3 probe in patients with glaucoma: 1 year follow-up results in the Netherlands. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 2019; 97: 27.

19. de Vries VA, Pals J, Poelman HJ, Rostamzad P, Wolfs RCW, Ramdas WD. Efficacy and safety of micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *J Clin Med* 2022; 11(12): 3447. DOI: 10.3390/jcm11123447.

20. Jammal AA, Costa DC, Vasconcellos JPC, Costa VP. Prospective evaluation of micropulse transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: 1 year results. *Arq Bras Oftalmol* 2019; 82(5): 381–388. DOI: 10.5935/0004-2749.20190076.

21. Laruelle G, Pourjavan S, Janssens X, Marinescu-George C, Boustani G. Real-life experience of micropulse transscleral cyclophotocoagulation (MP-TSCPC) in advanced and uncontrolled cases of several glaucoma types: A multicentric retrospective study. *Int Ophthalmol* 2021; 41(10): 3341–3348. DOI: 10.1007/s10792-021-01896-w.

22. Lim EJJ, Cecilia AM, Lim DKA, Sng CCA, Loon SC, Lun KWX, Chew PTK, Koh VTC. Clinical efficacy and safety outcomes of micropulse transscleral diode cyclophotocoagulation in patients with advanced glaucoma. *J Glaucoma* 2021; 30(3): 257–265. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001729.
23. Lima NVDA, Lopes NLV, Maestrini HA, Giacometti HHAR, Neto TDSR, Mario LPD, Fernandes TAP, Balbino M, Seixas RCS, Moreira LP. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation for the management of diverse glaucoma types: A multicenter short-term real-world study. *Clin Ophthalmol* 2026; 20: 1–12. DOI: 10.2147/OPTH.S555181.
24. Preda MA, Karancsi OL, Munteanu M, Stanca HT. Clinical outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma-18 months follow-up. *Lasers Med Sci* 2020; 35(7): 1487–1491. DOI: 10.1007/s10103-019-02934-x.
25. Radhakrishnan S, Wan J, Tran B, Thai A, Hernandez-Siman J, Chen K, Nguyen N, Pickering TD, Tanaka HG, Lieberman M, Wong P, Iwach AG. Micropulse cyclophotocoagulation: A multicenter study of efficacy, safety, and factors associated with increased risk of complications. *J Glaucoma* 2020; 29(12): 1126–1131. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001644.
26. Sarrafpour S, Saleh D, Ayoub S, Radcliffe NM. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: A look at long-term effectiveness and outcomes. *Ophthalmol Glaucoma* 2019; 2(3): 167–171. DOI: 10.1016/j.ogla.2019.02.002.
27. Tong W, Shen T, Wong H, Aquino M, Chew P, Lim D. One-year outcomes of micropulse cyclophototherapy for primary open-angle glaucoma. *J Glaucoma* 2021; 30(10): 911–920. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001925.
28. Valle IT, Bazarra SP, Taboas MF, Cid SR, Diaz MDA. Medium-term outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *J Curr Glaucoma Pract* 2022; 16(2): 91–95. DOI: 10.5005/jp-journals-10078-1370.
29. Varikuti VNV, Shah P, Rai O, Chaves AC, Miranda A, Lim BA, Dorairaj SK, Sieminski SF. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in eyes with good central vision. *J Glaucoma* 2019; 28(10): 901–905. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001339.
30. Zaarour K, Abdelmassih Y, Arej N, Cherfan G, Tomey KE, Khoueir Z. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in uncontrolled glaucoma patients. *J Glaucoma* 2019; 28(3): 270–275. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001174.
31. Garcia GA, Nguyen CV, Yelenskiy A, Akiyama G, McKnight B, Chopra V, Lu K, Huang A, Tan JCH, Francis BA. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: Short-term efficacy, safety, and impact of surgical history on outcomes. *Ophthalmol Glaucoma* 2019; 2(6): 402–412. DOI: 10.1016/j.ogla.2019.08.009.
32. Ma A, Yu SWY, Wong JKW. Micropulse laser for the treatment of glaucoma: A literature review. *Surv Ophthalmol* 2019; 64(4): 486–497. DOI: 10.1016/j.survophthal.2019.01.001.
33. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol* 2013; 24(2): 102–110. DOI: 10.1097/ICU.0b013e32835d9335.
34. Johansyah CAP, Bambang L. A systematic review of cyclophotocoagulation techniques: Continuous wave versus micropulse for glaucoma treatment. *Beyoglu Eye J* 2024; 9(1): 1–7. DOI: 10.14744/bej.2024.47123.
35. Ling Q, Cai Z, Zhang X, Duan X. The efficacy and safety of micropulse transscleral laser treatment in glaucoma: A systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol* 2023; 23(1): 263. DOI: 10.1186/s12886-023-03017-w.