



Vincenzo Orfeo¹, Mariapaola Giordano²

¹ Direttore Unità Operativa di Oculistica, Clinica Mediterranea, Napoli - Professore a contratto presso la Scuola di Specializzazione in Oftalmologia dell'Università di Trieste

² Medico chirurgo specializzanda in Oculistica, Università Federico II, Napoli

Chirurgia della cataratta con Laser a femtosecondi

Abstract: L'articolo intende fare maggiormente chiarezza sull'impiego del Laser a Femtosecondi nella chirurgia della cataratta, paragonare le diverse aspettative che sono state poste in essere a partire dalla sua introduzione e puntualizzare l'appropriatezza di impiego attuale alla luce delle più recenti evidenze scientifiche.

Keywords: chirurgia della cataratta femto-laser assistita, facoemulsificazione, capsulotomia, danno endoteliale, outcome refrattivi

Introduzione

La cataratta è la principale causa di cecità a livello mondiale. Il trattamento chirurgico gold standard è rappresentato dalla Facoemulsificazione (PCS), che rappresenta una delle tecniche chirurgiche più efficaci in medicina, consentendo un incremento dell'acuità visiva ed un miglioramento della qualità di vita. La PCS è uno degli interventi più eseguiti al mondo, con circa 17.7 milioni di procedure eseguite nell'anno 2018¹.

Nel 2008 il progresso tecnologico ha permesso l'impiego del laser a Femtosecondi nella chirurgia della cataratta (FLACS) e nel 2010 il primo trattamento è stato eseguito negli Stati Uniti, adoperando LenSx Alcon, il primo laser a femtosecondi introdotto sul mercato mondiale.

Ad oggi si valuta che ci siano 75 Femtolaser in

Italia per circa 15.000 procedure FLACS contro più di 100.000 procedure in Europa.

Il nostro reparto a Napoli è stato tra i primi in Italia a disporre già dall'inizio del 2013.

Principi fisici

Il principio fisico sul quale si basa tale tecnologia è la foto distruzione tissutale focale, mediante brevi impulsi energetici della lunghezza d'onda di 1030-1060 μm e della durata di 10-15 secondi, con danni tissutali collaterali minimi². L'impulso energetico provoca un breakdown ottico, generando microplasma, che induce la separazione tissutale mediante onde d'urto. Con il raffreddamento del microplasma, si formano piccole bolle d'aria, le bolle cavitazionali. L'energia adoperata dal laser a Femtosecondi nell'intervento di cataratta è dell'ordine di mi-

crojoule e gli impulsi sono applicati per un intervallo di tempo troppo breve per trasferire calore ed indurre flogosi, pertanto i danni tissutali collaterali risultano minimi³.

Il laser a Femtosecondi ha trovato inizialmente largo impiego nella chirurgia corneale refrattiva soprattutto con l'esecuzione di flap di grande precisione per la Lasik, ma anche nella chirurgia del trapianto di cornea sia perforante che lamellare.

Praticamente con la tecnologia del Femtolaser è possibile eseguire qualsiasi configurazione di taglio con un controllo preciso delle dimensioni delle incisioni non paragonabile all'esecuzione manuale. Ciò avviene mediante fotodistruzione senza indurre danno termico.

La tecnologia Femtolaser ha poi trovato valido impiego nella chirurgia della cataratta per l'esecuzione delle incisioni corneali principali e secondarie, incisioni curve per l'astigmatismo, della capsulotomia e della frammentazione del nucleo lenticolare, aumentando la precisione di tali step e rendendo maggiormente prevedibile l'outcome chirurgico⁴. Inoltre, la frammentazione nucleare mediante laser, riduce l'impiego di

ultrasuoni richiesti nella Facoemulsificazione, rendendo più agevole la rimozione del cristallino e riducendo le complicanze chirurgiche⁵.

LA TECNICA FLACS

Docking

Il Docking è il contatto saldo tra il laser e la superficie oculare del paziente ed avviene tramite il cosiddetto Patient Interface. Per un buon docking è necessaria la perfetta immobilità dell'occhio del paziente e ciò si ottiene attraverso una fase di suzione che stabilizza il docking. La suzione può avvenire tramite un anello di suzione che esplica la sua azione sulla congiuntiva perilimbare con una appianazione coadiuvata o meno da una lente a contatto oppure tramite un anello di suzione riempito da liquido. Ciò varia a seconda della azienda costruttrice del Femtolaser.

Tutta la procedura viene sempre guidata da un sistema di acquisizione di immagini, la Tomografia Ottica a Radiazione Coerente (O.C.T.), la quale permette il riconoscimento e la misurazione delle strutture oculari, consen-



Femto Laser Alcon



Patient Interface Alcon per docking

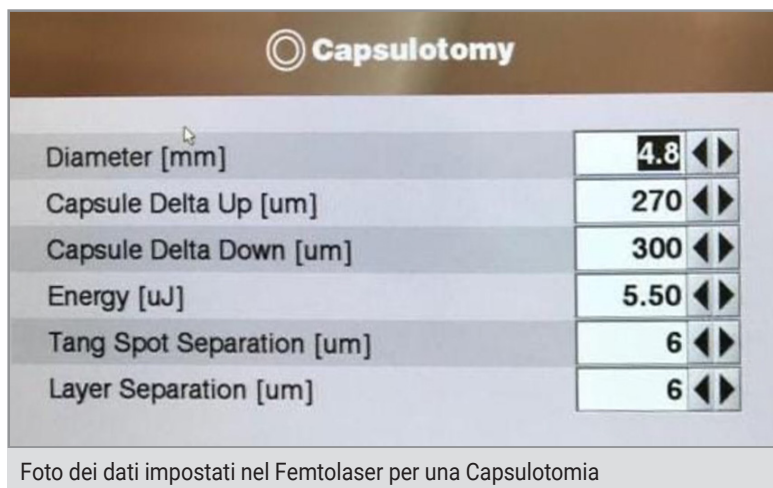
tendo accuratezza nella pianificazione della profondità dei tagli.

Capsulotomia

La capsulotomia rappresenta il primo step chirurgico ed il più importante, eseguito dal laser a Femtosecondi. L'ordine di esecuzione dei vari step è dettato da diverse motivazioni. Durante l'esecuzione della capsulotomia, infatti, la eventuale

formazione delle bolle di cavitazione determinate da altra procedura precedente, es. nucleoframmentazione, avrebbe potuto determinare opacizzazione della camera anteriore ed indurre successivi errori di taglio. Inoltre, le bolle avrebbero potuto esercitare tensione sulla capsula, inducendone la rottura. Poi, se le incisioni corneali fossero state programmate prima, avrebbero potuto causare la perdita di suzione o di camera. Per questo motivo il Femtolaser inizia la procedura con la Capsulotomia, poi esegue la Nucleoframmentazione ed in ultimo le incisioni corneali.

Il principale vantaggio della capsulotomia con laser a femtosecondi è l'estrema precisione nell'accuratezza del diametro e della centratura, la quale permette un miglioramento significativo del posizionamento della IOL, con maggiore predittività del risultato refrattivo^{6,7}. Tale precisione riveste un ruolo maggiore nei casi di IOL toriche e multifocali, in cui il fenomeno del tilting per copertura parziale della IOL può determinare fastidiosi fenomeni aberrometrici. Da studi condotti con microscopia elettronica è possibile evidenziare differenze strutturali nelle capsuloressi eseguite con tecnica manuale e quelle eseguite con laser a Femtosecondi, in quanto la capsuloressi curvilinea continua



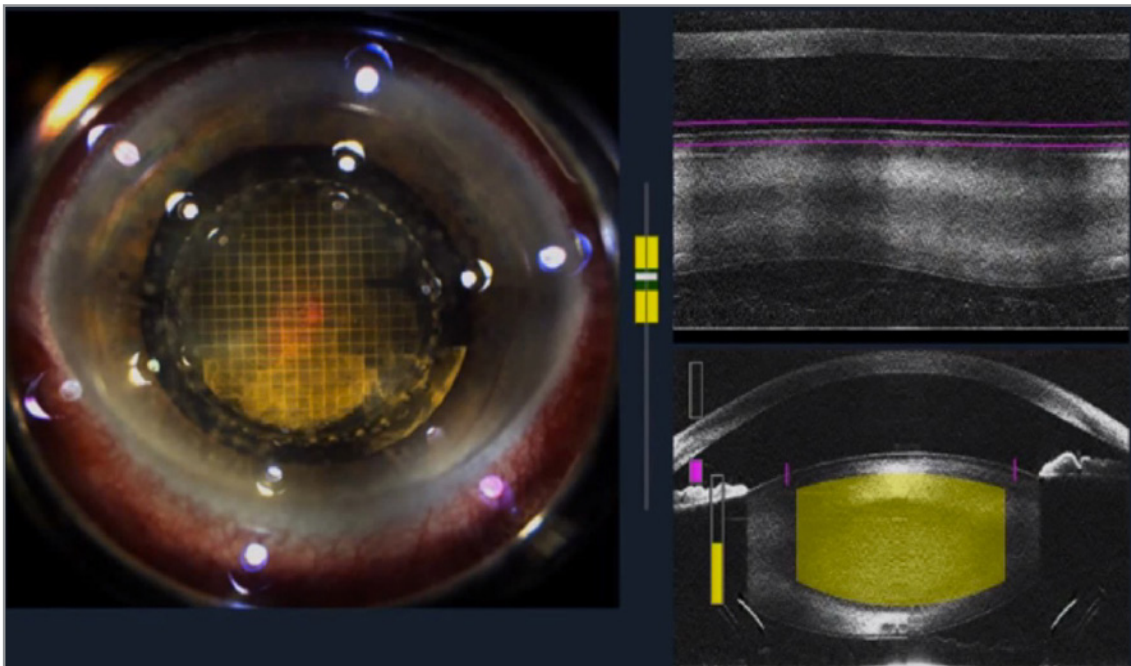
Capsulotomy	
Diameter [mm]	4.8
Capsule Delta Up [um]	270
Capsule Delta Down [um]	300
Energy [uJ]	5.50
Tang Spot Separation [um]	6
Layer Separation [um]	6

Foto dei dati impostati nel Femtolaser per una Capsulotomia

manuale dimostra bordi netti, conformi alla fisiologica struttura fibrillare capsulare. Al contrario, la capsulotomia eseguita con laser dimostra bordi con micro-ondulazioni e piccoli fori adiacenti, dovuti agli impulsi energetici applicati⁸.

Nucleoframmentazione

La nucleoframmentazione è il secondo step eseguito con il Femtolaser. La grande innovazione è la riduzione dell'energia cumulativa dissipata (ECD) e degli ultrasuoni complessivi impiegati (US power)⁹. Il pre-trattamento del nucleo permette di ridurre il tempo di Facioemulsificazione dal 51%¹⁰ fino all'81%¹¹. Il principale vantaggio di ciò è rappresentato dalla riduzione del danno indotto alle cellule endoteliali corneali, principalmente correlato al tempo di Facioemulsificazione (EPT: effective phaco time). Studi comparativi hanno dimostrato una riduzione dell'edema corneale e della perdita di cellule endoteliali post operatoria con l'impiego del Femtolaser in comparazione alla tecnica chirurgica standard. Tali differenze tendono a scomparire a 6 mesi dall'intervento. L'edema corneale post-operatorio è influenzato da numerosi fattori, correlati sia al paziente che alla tecnica chirurgica. I fattori indipendenti dalla chirurgia sono l'età del paziente,



Trattamento Femto Laser

la densità della cataratta, la lunghezza assiale, l'ampiezza della camera anteriore, la densità delle cellule endoteliali e il diabete mellito. I fattori dipendenti dalla chirurgia sono l'energia impiegata, le soluzioni irriganti, i viscoelastici, l'esperienza del chirurgo e il tempo di Facoemulsificazione.

Quest'ultimo rappresenta il fattore più influente per il danno endoteliale. Gli ultrasuoni emulsificano il cristallino mediante l'azione diretta della punta vibrante del Faco e mediante un'azione indiretta di cavitazione delle microbolle, che induce calore e pressione. Le microbolle rivestono un ruolo importante nel danno indotto alle cellule endoteliali mediante un fenomeno di tensione superficiale¹².
taggio ottenuto con il Femtolaser, tuttavia, si riduce nei casi in cui esso viene impiegato an-

	CHOP	CYLINDER	FRAG
Diameter [mm]	6.0	2.4	3.0
Lens Anterior Offset [um]	500	500	500
Lens Posterior Offset [um]	800	800	800
Number of Cuts/Cylinders/Horiz	2	2	0 1 2
Energy [uJ] @ 3-4 mm	8.00	8.00	8.00
Energy [uJ] @ 4-5 mm	8.00	8.00	8.00
Energy [uJ] @ 5-6 mm	8.00	8.00	8.00
Energy [uJ] @ 6-7 mm	8.00	8.00	8.00
Energy [uJ] @ 7-8 mm	8.00	8.00	8.00
Spot Separation [um]	12	12	15
Layer Separation [um]	11	11	20
Layer Skip/Frag Spokes		2	0 4 8
PI Angle Offset/Spoke Length [mm]	0		1.5
Frag Size [um]			350

Foto dei dati impostati nel Femtolaser per la Nucleoframmentazione

che per l'esecuzione delle incisioni corneali. Durante quest'ultima, infatti, l'energia del laser è applicata direttamente alla cornea e all'endotelio ed il fenomeno di fotodistruzione induce la formazione di microbolle all'interno della cornea che potenziano il danno endoteliale¹¹. Ciò assume particolare importanza nei casi di Distrofia di Fuchs dove il Femtolaser è di grande aiuto nel ridurre l'energia utilizzata in came-

ra anteriore per frammentare ed asportare il cristallino ma dove non viene consigliata l'esecuzione delle incisioni per possibile sofferenza endoteliale della cornea già compromessa dalla malattia di base.

Incisioni corneali

Le incisioni corneali rappresentano l'ultima fase in ordine cronologico della chirurgia Femtolaser assistita. Il vantaggio che ne deriva risiede nella possibilità di creare incisioni multiplanari della lunghezza e dell'ampiezza desiderate, garantendo maggiore tenuta, maggiore sicurezza post-operatoria e costante astigmatismo indotto¹³.

Applicazioni

Le principali applicazioni del Femtolaser nella chirurgia della cataratta riguardano casi in cui l'obiettivo chirurgico è un risultato refrattivo ottimale certo, richiesto soprattutto dall'impiego di lenti toriche o multifocali.

Tuttavia, l'utilità si estende anche a casi di cataratte particolarmente complesse.

L'esecuzione della capsulotomie a bulbo chiuso permette di non apportare modifiche di forze o pressioni in camera anteriore, rappresentando un vantaggio in caso di capsule danneggiate da corpi estranei traumatici o iatrogeni¹⁴.

Anche nei casi di cataratte bianche intumescenti, la capsulotomia con Femtolaser è di grande beneficio per il profilo di sicurezza dell'intervento, in quanto evita complicanze relativamente frequenti quali fughe radiali che possono inficiare l'esito della capsulotomia manuale¹⁵.

Infine è da ricordare l'importante aiuto che si ottiene con l'utilizzo del Femtolaser nelle cataratte con camere anteriori molto basse, nei soggetti predisposti alla chiusura dell'angolo iridocorneale.

Conclusioni

Le ultime review e metanalisi pubblicate su riviste internazionali hanno posto a confronto la chirurgia della cataratta Femtolaser assistita con la tecnica di Facioemulsificazione standard, concludendo come non vi sia superiorità di una tecnica rispetto all'altra ed evidenziando che i costi aggiuntivi del Femtolaser influenzano il rapporto costo-beneficio della prima^{16,17}.

Anche in termini di sicurezza e tasso di complicanze, le due tecniche sembrano equipararsi. Tuttavia, se il danno endoteliale sembra essere piuttosto equivalente a 6 mesi dall'intervento, al contrario lo spessore centrale corneale e la perdita di cellule endoteliali sono ridotte e la densità endoteliale migliore nei pazienti sottoposti a Femtolaser nei primi 3 mesi post-intervento.

Anche il recupero dell'acuità visiva non ha mostrato differenza tra le due metodiche nel lungo termine, tuttavia esso avviene in maniera più rapida per i pazienti sottoposti a Femtolaser. Inoltre alcuni autori riportano una maggiore incidenza di rotture capsulari posteriori durante la Facioemulsificazione standard¹⁸.

Alla luce delle più recenti evidenze scientifiche, è indubbio che gli ambiziosi obiettivi di robotizzazione nella chirurgia della cataratta, al fine di ridurre la variabilità operatore-dipendente ed eliminare l'errore umano, non siano stati pienamente raggiunti.

Tuttavia, è altresì indiscutibile il valido ausilio che il Femtolaser rappresenta in molte condizioni. Ciò viene particolarmente messo in risalto dalle richieste dei pazienti sempre più esigenti riguardo all'ottenimento di outcome refrattivi precisi.

E' inoltre innegabile l'importanza del contributo della tecnologia Femto in alcuni quadri patologici complessi, al fine di limitare le possibili complicanze.

REFERENCES

1. Market Scope. 2019 cataract surgical equipment market report: a global analysis for 2018 to 2024. May, 2019. <https://www.market-scope.com/pages/reports/101/2019-cataract-surgical-equipment-market-report-a-global-analysis-for-2018-to-2024-may-2019#reports> (accessed Dec 20, 2019).
2. Samuel H. Chung; Eric Mazur (2009). Surgical applications of femtosecond lasers. 2(10), 557–572. doi:10.1002/jbio.200910053
3. Gualdi, Luca & Gualdi, Massimo. (2012). *Principi di fisica del laser a femtosecondi*.
4. Roberts TV, Lawless M, Bali SJ, et al. Surgical outcomes and safety of femtosecond laser cataract surgery: a prospective study of 1500 consecutive cases. *Ophthalmology*. 2013;120(2):227–233. doi:10.1016/j.ophtha.2012.10.026
5. Scott WJ, Tauber S, Gessler JA, Ohly JG, Owsiak RR, Eck CD. Comparison of vitreous loss rates between manual phacoemulsification and femtosecond laser-assisted cataract
6. Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G, Andersen D, Marcellino G, Seibel BS, Battle J, Feliz R, Talamo JH, Blumenkranz MS, Culbertson WW. Femtosecond laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg*. 2011 Jul;37(7):1189-98. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.04.022. Erratum in: *J Cataract Refract Surg*. 2011 Sep;37(9):1742. PMID: 21700099.
7. Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs AI, Miháltz K, Kovács I, Knorz MC. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *J Refract Surg*. 2011 Aug;27(8):564-9. doi: 10.3928/1081597X-20110607-01. Epub 2011 Jun 20. PMID: 21688765.
8. Daya S, Chee SP, Ti SE, Packard R, Mordaunt DH. Comparison of anterior capsulotomy techniques: continuous curvilinear capsulorhexis, femtosecond laser-assisted capsulotomy and selective laser capsulotomy. *Br J Ophthalmol*. 2020 Mar;104(3):437-442. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313421. Epub 2019 Apr 4. PMID: 30948356.
9. Daya SM, Nanavaty MA, Espinosa-Lagana MM. Translenticular hydrodissection, lens fragmentation, and influence on ultrasound power in femtosecond laser-assisted cataract surgery and refractive lens exchange. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):37-43. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.07.040. Epub 2013 Nov 22. PMID: 24269138.
10. Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009; 25:1053–1060
11. Abell RG, Kerr NM, Howie AR, Mustaffa Kamal MA, Allen PL, Vote BJ. Effect of femtosecond laser-assisted cataract surgery on the corneal endothelium. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Nov;40(11):1777-83. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.05.031. Epub 2014 Sep 10. Erratum in: *J Cataract Refract Surg*. 2015 May;41(5):1128. PMID: 25217072.
12. Kim EK, Cristol SM, Geroski DH, McCarey BE, Edlhauser HF. Corneal endothelial damage by air bubbles during phacoemulsification. *Arch Ophthalmol* 1997; 115:81–88; correction, 630
13. Serrao S, Lombardo G, Ducoli P, Rosati M, Lombardo M. Evaluation of femtosecond laser clear corneal incision: an experimental study. *J Refract Surg*. 2013 Jun;29(6):418-24. doi: 10.3928/1081597X-20130430-01. Epub 2013 May 3. PMID: 23642006.
14. Conrad-Hengerer I, Dick HB, Schultz T, Hengerer FH. Femtosecond laser-assisted capsulotomy after penetrating injury of the cornea and lens capsule. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):153-6. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.11.001. PMID: 24355728.
15. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Joachim SC, Schultz T, Dick HB. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in intumescent white cataracts. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):44-50. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.044. Epub 2013 Nov 20. PMID: 24269086.
16. Schweitzer C, Brezin A, Cochener B, Monnet D, Germain C, Roseng S, Sitta R, Maillard A, Hayes N, Denis P, Pisella PJ, Benard A; FEMCAT study group. Femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery (FEMCAT): a multicentre participant-masked randomised superiority and cost-effectiveness trial. *Lancet*. 2020 Jan 18;395(10219):212-224. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32481-X. PMID: 31954466.
17. Lin CC, Rose-Nussbaumer JR, Al-Mohtaseb ZN, Pantanelli SM, Steigleman WA 3rd, Hatch KM, Santhiago MR, Kim SJ, Schallhorn JM. Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2022 May 12:S0161-6420(22)00258-5. doi: 10.1016/j.ophtha.2022.04.003. Epub ahead of print. PMID: 35570159.
18. Chen L, Hu C, Lin X, Li HY, Du Y, Yao YH, Chen J. Clinical outcomes and complications between FLACS and conventional phacoemulsification cataract surgery: a PRISMA-compliant Meta-analysis of 25 randomized controlled trials. *Int J Ophthalmol*. 2021 Jul 18;14(7):1081-1091. doi: 10.18240/ijo.2021.07.18. PMID: 34282395; PMCID: PMC8243176.
9. Daya SM, Nanavaty MA, Espinosa-Lagana MM. Translenticular hydrodissection, lens fragmentation, and influence on ultrasound power in femtosecond laser-assisted cataract surgery and refractive lens exchange. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):37-43. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.07.040. Epub 2013 Nov 22. PMID: 24269138.

10. Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009; 25:1053–1060
11. Abell RG, Kerr NM, Howie AR, Mustaffa Kamal MA, Allen PL, Vote BJ. Effect of femtosecond laser-assisted cataract surgery on the corneal endothelium. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Nov;40(11):1777-83. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.05.031. Epub 2014 Sep 10. Erratum in: *J Cataract Refract Surg*. 2015 May;41(5):1128. PMID: 25217072.
12. Kim EK, Cristol SM, Geroski DH, McCarey BE, Edlhauser HF. Corneal endothelial damage by air bubbles during phacoemulsification. *Arch Ophthalmol* 1997; 115:81–88; correction, 630
13. Serrao S, Lombardo G, Ducoli P, Rosati M, Lombardo M. Evaluation of femtosecond laser clear corneal incision: an experimental study. *J Refract Surg*. 2013 Jun;29(6):418-24. doi: 10.3928/1081597X-20130430-01. Epub 2013 May 3. PMID: 23642006.
14. Conrad-Hengerer I, Dick HB, Schultz T, Hengerer FH. Femtosecond laser-assisted capsulotomy after penetrating injury of the cornea and lens capsule. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):153-6. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.11.001. PMID: 24355728.
15. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Joachim SC, Schultz T, Dick HB. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in intumescent white cataracts. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):44-50. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.044. Epub 2013 Nov 20. PMID: 24269086.
16. Schweitzer C, Brezin A, Cochener B, Monnet D, Germain C, Roseng S, Sitta R, Maillard A, Hayes N, Denis P, Pisella PJ, Benard A; FEMCAT study group. Femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery (FEMCAT): a multicentre participant-masked randomised superiority and cost-effectiveness trial. *Lancet*. 2020 Jan 18;395(10219):212-224. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32481-X. PMID: 31954466.
17. Lin CC, Rose-Nussbaumer JR, Al-Mohtaseb ZN, Pantanelli SM, Steigleman WA 3rd, Hatch KM, Santhiago MR, Kim SJ, Schallhorn JM. Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2022 May 12:S0161-6420(22)00258-5. doi: 10.1016/j.ophtha.2022.04.003. Epub ahead of print. PMID: 35570159.
18. Chen L, Hu C, Lin X, Li HY, Du Y, Yao YH, Chen J. Clinical outcomes and complications between FLACS and conventional phacoemulsification cataract surgery: a PRISMA-compliant Meta-analysis of 25 randomized controlled trials. *Int J Ophthalmol*. 2021 Jul 18;14(7):1081-1091. doi: 10.18240/ijo.2021.07.18. PMID: 34282395; PMCID: PMC8243176.