ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY REVIEW ARTICLE
DOI: 10.24292/01.OT.300621.3

Zastosowanie lasera femtosekundowego w operacji zaćmy

The application of the femtosecond laser in cataract surgery

Piotr Kanclerz, Karolina Pluta
Przychodnia Lekarska Hygeia w Gdańsku
Kierownik: dr n. med. Piotr Kanclerz

NAJWAŻNIEJSZE
Mimo swoich zalet laser femtosekundowy ma w zaćmie ograniczone zastosowanie ze względu na niewielką grupę pacjentów odnoszących korzyści i z powodu wysokich kosztów.

HIGHLIGHTS
Despite advantages, the use of femtosecond laser in cataracts is limited due to the insufficient cost-effectiveness and because only small group of patients may benefit from this treatment.

STRESZCZENIE

Wstęp: Oczekiwano, że wprowadzenie laserów femtosekundowych do chirurgii zaćmy zrewolucjonizuje tę gałąź okulistyki. Jednak ocena korzyści klinicznych okazała się znacznie bardziej złożona, niż można było pierwotnie przypuszczać. Celem niniejszej pracy był przegląd korzyści i wad operacji zaćmy wykonanej z wykorzystaniem lasera femtosekundowego w porównaniu z tradycyjną metodą fakoemulsyfikacji.

Wyniki: Korzyści związane z użyciem lasera femtosekundowego w operacji zaćmy obejmują niższy skumulowany czas fakoemulsyfikacji, zmniejszenie utraty komórek śródbłonka rogówki, idealną centrację lasera oraz możliwość jednoczesnego wykonania łukowatej keratotomii. Głównymi wadami są: wysoki koszt lasera i materiałów jednorazowych, specyficzne dla operacji zaćmy z użyciem lasera femtosekundowego torebkowe powikłania śródoperacyjne, a także ryzyko śródoperacyjnego zwężenia źrenicy.

Wnioski: Operację zaćmy z zastosowaniem lasera femtosekundowego można uznać za korzystną metodę w niektórych grupach pacjentów: u tych z niską wyjściową liczbą komórek śródbłonka lub u tych, u których planuje się użyć wieloogniskowych soczewek wewnątrzgałkowych. Niemniej jednak zalety nie są ewidentne w każdym przypadku, a metody tej nie można uznać za opłacalną ekonomicznie.

Słowa kluczowe: operacja zaćmy, laser femtosekundowy, fakoemulsyfikacja

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51

ABSTRACT

Introduction: Since the introduction, femtosecond laser-assisted cataract surgery (FLACS) was believed to revolutionize cataract surgery. However, the judgment of clinical benefits was found to be far more complex than initially might have been thought. The aim of this review was to analyze the benefits and drawbacks of FLACS compared to traditional phacoemulsification cataract surgery.
Results: The benefits of FLACS include lower cumulated phacoemulsification time and endothelial cell loss, perfect centration of the capsulotomy, and the possibility to perform precise femtosecond-assisted arcuate keratotomy incisions. The major disadvantages of FLACS are: high cost of the laser and the disposables for surgery, FLACS-specific intraoperative capsular complications, as well as the risk of intraoperative miosis and the learning curve.
Conclusions: FLACS seems to be beneficial in some groups of patients, i.e., with low baseline endothelial cell count, or those planning to receive multifocal intraocular lenses. Nevertheless, having considered that the advantages of FLACS might not be clear in every routine case, it cannot be considered as cost-effective.

Key words: cataract surgery, femtosecond laser-assisted cataract surgery, phacoemulsification

For non-commercial use only

WSTĘP

Lasery femtosekundowe emitują bardzo krótkie impulsy o wysokiej mocy w zakresie podczerwieni (1053 nm) w celu fotodysrupcji lub fotojonizacji tkanek biologicznych [1]. Ich wprowadzenie do chirurgii zaćmy miało wyeliminować problemy związane z użyciem fal ultradźwiękowych. Jednak ocena korzyści klinicznych okazała się znacznie bardziej złożona, niż można było pierwotnie przypuszczać.
Cel niniejszego badania stanowiło dokonanie przeglądu korzyści i wad operacji zaćmy za pomocą lasera femtosekundowego (FLACS, *femtosecond laser-assisted cataract surgery*) w porównaniu z konwencjonalną operacją zaćmy metodą fakoemulsyfikacji (PCS, *phacoemulsification cataract surgery*).

ANALIZA ŚRÓDOPERACYJNYCH ZALET I WAD METODY FLACS

Komplikacje związane z dokowaniem lasera

Dokowanie laserowe w metodzie FLACS wymaga dodatkowych kroków, wprowadza ryzyko warunkowane tymi krokami i jest czasochłonne [2]. Najistotniejszą trudność użycia pierścienia ssącego stanowi potencjalna utrata siły ssącej i zatrzymanie procedury, co może skutkować niepełną kapsulotomią lub wylewem podspojówkowym. W badaniu przeprowadzonym przez Zhanga i wsp. odsetek ukończenia kapsulotomii laserowej, fragmentacji soczewek i nacięć rogówki wyniósł odpowiednio: 98,6% (95% CI 97,8–99,1), 99,5% (95% CI 99,1–99,8), 97,6% (95% CI 96,7–98,3) [3].

Nacięcie rogówki

Poprawnie przygotowane porty rogówkowe zmniejszają ryzyko wystąpienia powikłań podczas operacji zaćmy, a także pozwalają na zapewnienie szczelności rany [4]. Analiza morfologiczna nacięć wykonanych femtolaserem wykazała jednak znacznie wyższą liczbę komórek apoptotycznych w linii nacięcia w porównaniu z nacięciami w PCS [5]. Badania przeprowadzone metodą optycznej tomografii koherencyjnej dowiodły, że chociaż laserowo wykonane nacięcie rogówki jest bardziej precyzyjne i wykazuje podobne gojenie po miesiącu, to jednak przyleganie brzegów rany po zabiegu jest w tym przypadku gorsze. Rodrigues i wsp. odnotowali częściową utratę uszczelnienia rany praktycznie we wszystkich ranach trójplanarnych utworzonych za pomocą lasera femtosekundowego i tylko w 44,6% nacięć ręcznych ($p = 0,03$) [6].
Innym zagadnieniem, które należy wziąć pod uwagę przy porównywaniu manualnych i wykonywanych przez laser femtosekundowy nacięć rogówki, jest możliwość wykonania łukowatej keratotomii (AK, *arcuate keratotomy*), którą można zastosować w leczeniu astygmatyzmu niskiego stopnia podczas PCS. Przy ręcznych nacięciach AK problem stanowi stosunkowo niska przewidywalność ze względu na ograniczoną odtwarzalność długości nacięcia i osiowania. Teoretycznie AK wykonana laserem femtosekundowym

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51

ma zalety łatwości wykonywania, bezpieczeństwa i większej odtwarzalności. Jednak istotną trudnością może być prawidłowe ustalenie osi korekcji astygmatyzmu. W badaniu Chana i wsp. średni kąt błędu dla AK był bliski 0°, jednak w przypadku oceny wartości bezwzględnych wynosił 17,5° ± 19,2° [7].

Kapsulotomia

Istotną zaletą kapsulotomii wykonanej laserem femtosekundowym (FLC, *femtosecond laser capsulotomy*) jest możliwość jej idealnego umieszczenia i zwymiarowania. Ta korzyść byłaby potencjalnie ważna u pacjentów z wielogniskowymi soczewkami wewnątrzgałkowymi, u których centracja soczewki może wpływać na sprawność widzenia. W badaniu Panthiera i wsp. stwierdzono precyzyjniejszą wielkość kapsulotomii w FLC niż w kapsuloreksji manualnej (CCC, *continuous curvilinear capsulorhexis*) [8]. Niemniej jednak FLC nie poprawiło pozycji soczewki ani jakości widzenia.

Problem w przypadku FLC stanowi wytrzymałość krawędzi kapsulotomii, która, jak wykazano, zmniejsza się wraz ze wzrostem poziomu energii lasera. Jednak nawet przy zoptymalizowanych ustawieniach energii FLC krawędź kapsulotomii wykazuje niższą odporność na naprężenia i większą skłonność do radialnego pęknięcia przedniej torebki soczewki w porównaniu z CCC. Eksperymentalne badanie oczu martwych osób wykazało, że wytrzymałość naprężeń torebki w FLC jest 1,28-krotnie niższa niż w CCC [9]. W konsekwencji klinicznie wskaźnik promienistego pęknięcia przedniej torebki soczewki jest wyższy w FLC (1,84%) niż w manualnym CCC (0,22%) [10].

Użyteczność metody FLACS w chirurgii zaawansowanej zaćmy

Istotna trudność operacji zaawansowanej zaćmy to wykonanie idealnej kapsuloreksji. Problemy napotykane podczas tego etapu operacji obejmują brak czerwonego refleksu oraz podwyższone ciśnienie śródsoczewkowe i związane z tym większe prawdopodobieństwo uszkodzenia przedniej torebki. Badanie pilotażowe wykazało potencjalne zalety FLACS w 25 operowanych oczach z zaawansowaną zaćmą, ponieważ wykonana laserem kapsulotomia była idealnie zaokrąglona i odpowiedniej wielkości, co pozwoliło uniknąć powikłań śródoperacyjnych związanych ze zwiększonym ciśnieniem wewnątrz torebki [11]. Jednak istotnym problemem w tych przypadkach może być śródoperacyjny wypływ mlecznobiałej cieczy do przedniej komory, która może blokować energię lasera skierowaną na torebkę soczewki.

Badania analizujące ryzyko powikłań śródoperacyjnych u osób z zaawansowaną zaćmą nie dostarczyły niepodważalnych dowodów na korzyści kliniczne FLACS w porównaniu z konwencjonalnym PCS. W dużym badaniu na 132 oczach z zaawansowaną zaćmą Zhu i wsp. zgłaszali niższe ryzyko promienistego pęknięcia przedniej torebki w FLACS niż w manualnym PCS (0% vs 12,1%; p = 0,007). Jednak ryzyko przerwania tylnej torebki soczewki (PCR), które jest podwyższone w zaawansowanej zaćmie, nie różniło się pomiędzy grupą FLACS i PCS (1,5% vs 6,1%; p = 0,362) [12]. Z pewnością konieczne są dodatkowe badania w celu ustalenia ostatecznej korzyści śródoperacyjnej metody FLACS w porównaniu z PCS.

Energia fakoemulsyfikacji i jej wpływ na śródbłonek

Wstępne badania wykazały, że leczenie laserem femtosekundowym pozwala skrócić efektywny czas fakoemulsyfikacji (EPT, *effective phacoemulsification time*) o 83,6% w porównaniu z czasem konwencjonalnej PCS [13]. Co ważne, zmniejszenie EPT może się przełożyć na niższą utratę komórek śródbłonka. Kolejne badania wykazały, że metoda FLACS może zapewnić zminimalizowanie uszkodzenia komórek śródbłonka w szczególnie ciężkich przypadkach zaćmy i zapewnić szybszą rehabilitację wzrokową niż PCS [14, 15].

Rozmiar źrenicy podczas operacji

Istotnym problemem i wadą FLACS jest śródoperacyjne zwężenie źrenicy. W badaniu przeprowadzonym przez Nagyego i wsp. wskaźnik zwężenia śródoperacyjnego osiągnął 32% [16]. Czynniki ryzyka śródoperacyjnego zwężenia źrenicy obejmują dłuższy czas wstępnej obróbki laserowej i starszy wiek pacjenta [17]. Poprzez zastosowanie niesteroidowych leków przeciwzapalnych można zapobiec śródoperacyjnemu zwężeniu źrenicy, dzięki czemu skraca się czas trwania operacji oraz nie ma potrzeby użycia urządzeń rozszerzających źrenicę [18].

ANALIZA POOPERACYJNYCH ZALET I WAD METODY FLACS

Torbielowaty obrzęk plamki

Torbielowaty obrzęk plamki (CME, *cystoid macular edema*) należy do najczęstszych późnych powikłań w chirurgii zaćmy [19]. Manipulacje chirurgiczne powodują dyfuzję czynników prozapalnych do ciała szklistego, co może prowadzić do przerwania bariery krew–siatkówka. Powoduje to wzrost przepuszczalności naczyń włosowatych okołodołkowych, a następnie obrzęk plamki żółtej. Ponieważ operacja metodą FLACS wykorzystuje dodatkowe manewry (dokowanie lasera lub aplanację), wiąże się to z dodatkowym ryzykiem powstania CME. Pierwsze badania dotyczące zastosowania lasera femtosekundowego w chirurgii zaćmy wykazały statystycznie wyższą częstość występowania CME w metodzie FLACS niż w klasycznej metodzie ultradźwiękowej (0,8% vs 0,2%; p = 0,07) [20]. W kolejnych próbach stosowano silniejsze leki przeciwzapalne, aby

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51

zmniejszyć ryzyko wystąpienia CME. Według niedawnego przeglądu Cochrane nie jest możliwe określenie równoważności lub wyższości FLACS w porównaniu z PCS pod względem ryzyka CME [21]. W związku z tym nadal istnieje potrzeba przeprowadzenia odpowiednio dużych badań.

Zmętnienie tylnej torebki soczewki

Kapsulotomia wykonana laserem femtosekundowym indukuje większą apoptozę komórek nabłonka soczewki położonych wzdłuż krawędzi tnącej w porównaniu z manualnym CCC [22]. Wykazano, że szkodliwe działanie apoptotyczne można zminimalizować poprzez zmniejszenie poziomu energii lasera [23]. Ponieważ proliferacja komórek nabłonkowych soczewki po PCS jest częściowo odpowiedzialna za zmętnienie tylnej torebki soczewki, teoretycznie apoptotyczny efekt FLACS może negatywnie wpływać na mętnienie tylnej torebki [24]. Niemniej jednak w badaniach klinicznych częstość pooperacyjnego wystąpienia zmętnienia torebki tylnej soczewki we FLACS nie była niższa niż w PCS.

WYNIKI POOPERACYJNE

Pacjenci po FLACS wykazywali mniejszy błąd refrakcji w porównaniu z leczonymi tradycyjną PCS, a w oczach z płytką komorą przednią metoda FLACS generowała mniejszy obrzęk rogówki i stan zapalny. Niemniej jednak w bazie danych European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery metoda FLACS nie poprawiła wyników pooperacyjnych w porównaniu z rutynowym PCS [25].

Analiza kosztów

Analizując całkowity koszt pojedynczego przypadku FLACS, należy wziąć pod uwagę kilka wydatków: zakup i utrzymanie lasera femtosekundowego, pomoc wyszkolonego technika, ale też ilość czasu, którego wymagają dodatkowe kroki w metodzie FLACS. Biorąc pod uwagę, że koszty ponosi zarówno szpital, jak i pacjenci, nie można uznać, iż metoda FLACS jest opłacalna. Aby osiągnąć opłacalność, metoda ta powinna znacznie obniżać odsetek powikłań i zmniejszać koszty leczenia dla pacjentów [26].

PODSUMOWANIE

Metodę FLACS można uznać za korzystną w niektórych grupach pacjentów: u tych z niską wyjściową liczbą komórek śródbłonka lub u tych, u których planuje się użyć wieloogniskowych soczewek wewnątrzgałkowych. Niemniej jednak zalety metody FLACS nie są jasne w każdym rutynowym przypadku, dlatego nie można jej uznać za opłacalną. Korzyści i wady metody FLACS podsumowano w tabeli 1.

TABELA 1

Zalety i wady metody FLACS – podsumowanie.

Zalety	Wady
niższy czas fakoemulsyfikacji i zmniejszenie utraty komórek śródbłonka rogówki	wysoki koszt lasera i materiałów jednorazowych
idealna centracja kapsulotomii	specyficzne dla FLACS powikłania śródoperacyjne dotyczące torebki soczewki
możliwość jednoczesnego wykonania łukowatej keratotomii	ryzyko śródoperacyjnego zwężenia źrenicy

FLACS (*femtosecond laser-assisted cataract surgery*) – operacja zaćmy z użyciem lasera femtosekundowego.

ADRES DO KORESPONDENCJI
dr n. med. Piotr Kanclerz
Przychodnia Lekarska Hygeia
80-286 Gdańsk, ul. Jaśkowa Dolina 57
tel.: +58 776 40 46
e-mail: p.kanclerz@gumed.edu.pl

ORCID
Piotr Kanclerz – ID – http://orcid.org/0000-0002-8036-7691
Karolina Pluta – ID – http://orcid.org/0000-0003-1343-9947

Piśmiennictwo

1. Chung SH, Mazur E. Surgical applications of femtosecond lasers. J Biophotonics. 2009; 2(10): 557-72.
2. Feldman BH. Femtosecond laser will not be a standard method for cataract extraction ten years from now. Surv Ophthalmol. 2015; 60(4): 360-5. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2015.02.002.
3. Zhang X, Yu Y, Zhang G et al. Performance of femtosecond laser-assisted cataract surgery in Chinese patients with cataract: a prospective, multicenter, registry study. BMC Ophthalmol. 2019; 19(1): 77.

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51

4. Alió JL, Abdou AA, Soria F et al. Femtosecond laser cataract incision morphology and corneal higher-order aberration analysis. J Refract Surg. 2013; 29(9): 590-5.
5. Mayer WJ, Klaproth OK, Hengerer FH et al. In vitro immunohistochemical and morphological observations of penetrating corneal incisions created by a femtosecond laser used for assisted intraocular lens surgery. J Cataract Refract Surg. 2014; 40(4): 632-8.
6. Rodrigues R, Dos Santos MS, Silver RE et al. Corneal incision architecture: VICTUS femtosecond laser vs manual keratome. Clin Ophthalmol. 2019; 13: 147-152. https://doi.org/10.2147/opth.s181144.
7. Chan TCY, Cheng GPM, Wang Z et al. Vector Analysis of Corneal Astigmatism After Combined Femtosecond-Assisted Phacoemulsification and Arcuate Keratotomy. Am J Ophthalmol. 2015; 160(2): 250-5.e2. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2015.05.004.
8. Panthier C, Costantini F, Rigal-Sastourné JC et al. Change of Capsulotomy Over 1 Year in Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery and Its Impact on Visual Quality. J Refract Surg. 2017; 33(1): 44-9.
9. Daya S, Chee S-P, Ti S-E et al. Comparison of anterior capsulotomy techniques: continuous curvilinear capsulorhexis, femtosecond laser--assisted capsulotomy and selective laser capsulotomy. Br J Ophthalmol. 2020; 104(3): 437-42.
10. Abell RG, Darian-Smith E, Kan JB et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center. J Cataract Refr Surg. 2015; 41(1): 47-52. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.06.025.
11. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Joachim SC et al. Femtosecond laser–assisted cataract surgery in intumescent white cataracts. J Cataract Refract Surg. 2014; 40(1): 44-50. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.08.044.
12. Zhu Y, Chen X, Chen P et al. Lens capsule-related complications of femtosecond laser–assisted capsulotomy versus manual capsulorhexis for white cataracts. J Cataract Refract Surg. 2019; 45(3): 337-42. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.10.037.
13. Abell RG, Kerr NM, Vote BJ. Toward Zero Effective Phacoemulsification Time Using Femtosecond Laser Pretreatment. Ophthalmology. 2013; 120(5): 942-8. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.11.045.
14. Kanclerz P, Alio JL. The benefits and drawbacks of femtosecond laser-assisted cataract surgery. Eur J Ophthalmol. 2020. Online ahead of print. https://doi.org/10.1177/1120672120922448.
15. Piñero A, Kanclerz P, Barraquer RI et al. Evaluation of femtosecond laser-assisted cataract surgery after 10 years of clinical application. Arch Soc Esp Oftalmol. 2020; 95(11): 528-37.
16. Nagy ZZ, Takacs AI, Filkorn T et al. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Cataract Refract Surg. 2014; 40(1): 20-8.
17. Jun JH, Hwang KY, Chang SD et al. Pupil-size alterations induced by photodisruption during femtosecond laser-assisted cataract surgery. J Cataract Refract Surg. 2015; 41(2): 278-85.
18. Walter K, Delwadia N, Coben J. Continuous intracameral phenylephrine-ketorolac irrigation for miosis prevention in femtosecond laser-assisted cataract surgery: Reduction in surgical time and iris manipulation. J Cataract Refract Surg. 2019; 45(4): 465-9. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.11.004.
19. Grzybowski A, Kanclerz P. The Role of Steroids and NSAIDs in Prevention and Treatment of Postsurgical Cystoid Macular Edema. Curr Pharm Des. 2018; 24(41): 4896-902.
20. Ewe SYP, Oakley CL, Abell RG et al. Cystoid macular edema after femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery. J Cataract Refract Surg. 2015; 41(11): 2373-8. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2015.04.031.
21. Day AC, Gore DM, Bunce C et al. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery. Cochrane Database Syst Rev. 2016. https://doi.org/10.1002/14651858.cd010735.pub2.
22. Mayer WJ, Klaproth OK, Ostovic M et al. Cell Death and Ultrastructural Morphology of Femtosecond Laser-Assisted Anterior Capsulotomy. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 55(2): 893. https://doi.org/10.1167/iovs.13-13343.
23. Sun W, Liu J, Li J et al. Human lens epithelial cell apoptosis and epithelial to mesenchymal transition in femtosecond laser-assisted cataract surgery. Int J Ophthalmol. 2018; 11(3): 401-7.
24. Pisciotta A, De Maria M, Verdina T et al. Anterior Capsule of the Lens: Comparison of Morphological Properties and Apoptosis Induction following FLACS and Standard Phacoemulsification Surgery. Biomed Res Int. 2018; 2018: 7242837.
25. Manning S, Barry P, Henry Y et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Study from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. J Cataract Refract Surg. 2016; 42(12): 1779--90. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.10.013.
26. Abell RG, Vote BJ. Cost-effectiveness of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus phacoemulsification cataract surgery. Ophthalmology. 2014; 121(1): 10-6.

For non-commercial use only

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from
https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51

For non-commercial use only

Wkład autorów:
Wszyscy autorzy w równym stopniu przyczynili się do powstania artykułu.

Konflikt interesów:
Nie występuje.

Finansowanie:
Nie występuje.

Etyka:
Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych.

Authors' contributions:
All authors contributed equally to the article.

Conflict of interest:
None.

Financial support:
None.

Ethics:
The content presented in the article complies with the principles of the Helsinki Declaration, EU directives and harmonized requirements for biomedical journals.

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/ophthatherapy/index: 13.07.2025; 17:27,51