

# Optyka spiralna w soczewkach wewnątrzgałkowych – nowy paradygmat w dążeniu do ciągłego widzenia po operacji zaćmy

*Spiral optics in intraocular lenses – a new paradigm in the pursuit of continuous vision after cataract surgery*



**Bogumił Wowra<sup>1,2</sup>, Olga Łach-Wojnarowicz<sup>1,3</sup>,  
Dariusz Dobrowolski<sup>1-3</sup>, Edward Wylęgała<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Katedra i Oddział Kliniczny Okulistyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Edward Wylęgała

<sup>2</sup> Kliniczny Oddział Okulistyki, Okręgowy Szpital Kolejowy w Katowicach  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Edward Wylęgała

<sup>3</sup> Oddział Okulistyki, Wojewódzki Szpital Specjalistyczny nr 5 im. św. Barbary, Centrum Urazowe, Sosnowiec  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Dariusz Dobrowolski

## STRESZCZENIE

Zaćma starcza jest jedną z głównych przyczyn pogorszenia widzenia, wynika ona z postępujących zmian w soczewce. Współczesna chirurgia zaćmy ma charakter refrakcyjny i dąży do uzyskania dobrej jakości widzenia na różne odległości. Nowoczesne soczewki wewnątrzgałkowe, w tym wieloogniskowe i EDOF (*extended depth-of-focus*), poprawiają widzenie, ale mogą powodować zjawiska dysfotopsji i obniżenie czułości kontrastu. Optyka spiralna to nowe podejście oparte na ciągłej modulacji fazy, zapewniające szeroki zakres widzenia przy mniejszych efektach ubocznych. Wstępne wyniki są obiecujące, jednak wymagają dalszych badań.

**Słowa kluczowe:** zaćma starcza, soczewki wewnątrzgałkowe, EDOF, soczewki wieloogniskowe, optyka spiralna, chirurgia refrakcyjna, dysfotopsja

## ABSTRACT

Age-related cataract is a leading cause of visual impairment due to progressive changes in the crystalline lens. Modern cataract surgery has evolved into a refractive procedure aimed at restoring high-quality vision at multiple distances. Advanced intraocular lenses, including multifocal and EDOF (*extended depth-of-focus*) designs, address these needs but may cause photic phenomena and reduced contrast sensitivity. Spiral optics is a novel approach based on continuous phase modulation, offering an extended range of vision with fewer optical side effects. Early studies show promising visual outcomes, though further research is needed to confirm long-term safety and efficacy.

**Key words:** age-related cataract, intraocular lenses, EDOF, multifocal lenses, spiral optics, refractive surgery, photic phenomena

## NAJWAŻNIEJSZE

Chirurgia zaćmy staje się refrakcyjna. IOL wieloogniskowe i EDOF mają ograniczenia. Optyka spiralna daje ciągły zakres widzenia i mniej halo. Wstępne wyniki są obiecujące.

## HIGHLIGHTS

Cataract surgery is becoming refractive. Multifocal and EDOF IOLs have limits. Spiral optics offers continuous vision with fewer halos. Early results are promising.

## WSTĘP

Zaćma starcza jest efektem fizjologicznych procesów inwolucyjnych prowadzących do zmętnienia soczewki wewnątrzgałkowej, co przyczynia się do utraty przez nią najważniejszej cechy, czyli przejrzystości. Wraz z wiekiem białka w soczewce ulegają stopniowej denaturacji i agregacji. Zmienia się ich rozpuszczalność, co prowadzi do powstawania nieprzejrzystych skupisk białkowych. Ponadto w soczewce zachodzi wiele zmian strukturalnych skutkujących utratą elastyczności i zwiększeniem wymiarów. Soczewka przybiera żółtą barwę, zmienia się także refrakcja oka, przez co pojawiają się trudności z widzeniem zarówno z bliska, jak i z daleka.

Przywróceniu ostrości widzenia, zaburzonej przez opisane zmiany strukturalne i funkcjonalne soczewki, służy operacja zaćmy. W ostatnich latach obserwujemy wzrost częstości usuwania zaćmy, co stanowi element chirurgii refrakcyjnej mającej na celu przywrócenie dobrej ostrości wzroku na każdą odległość. Współcześnie pacjenci z zaćmą nie oczekują już jedynie poprawy widzenia do dali, ale dążą do uzyskania pełnego zakresu ostrego widzenia na różne odległości, co ma im umożliwić swobodne wykonywanie codziennych czynności – od obsługi urządzeń cyfrowych po czytanie drobnego druku – bez potrzeby korzystania z okularów.

## SOCZEWKI WEWNĄTRZGAŁKOWE

W odpowiedzi na rosnące oczekiwania pacjentów opracowano nowoczesne soczewki wewnątrzgałkowe (IOL, *intraocular lens*), takie jak konstrukcje wielogniskowe oraz soczewki o wydłużonej głębi ostrości (EDOF, *extended depth of focus*), których celem jest poprawa jakości widzenia w szerokim zakresie odległości. Podsumowanie ich właściwości zaprezentowano w tabeli 1 [1]. W wielu badaniach wykazano, że zwłaszcza soczewki trójognisko-

we mogą zapewniać bardzo dobre wyniki funkcjonalne oraz wysoki poziom satysfakcji pacjentów (szczególnie po obustronnej implantacji) i umożliwiają jednoczesne widzenie do dali, do odległości pośrednich i do blizy. Jednak mimo tych zalet klasyczne dyfrakcyjne soczewki trójogniskowe nie są pozbawione ograniczeń [2–4]. Ich działanie opiera się na podziale światła na kilka ognisk, co jest skuteczne pod względem zakresu widzenia, ale niestety wiąże się z utratą części energii świetlnej oraz powstawaniem interferencji, a to w efekcie prowadzi do obniżenia czułości kontrastu oraz pojawienia się olśnienia i halo. Zjawiska te zostały potwierdzone zarówno w badaniach klinicznych i w symulacjach psychofizycznych oraz w modelach wirtualnej implantacji, które pozwalają przewidywać jakość widzenia jeszcze przed zabiegiem [4]. Szczególnie w warunkach słabego oświetlenia efekty te mogą istotnie wpływać na komfort funkcjonowania, np. utrudniając jazdę nocą lub czytanie przy ograniczonym świetle.

Dodatkowym wyzwaniem pozostaje jakość widzenia pośredniego. Choć soczewki trójogniskowe zapewniają dobrą ostrość w określonych punktach ogniskowych, to rozkład światła pomiędzy te ogniska może skutkować relatywnie mniejszą efektywnością widzenia w odległościach pośrednich, takich jak przy pracy z komputerem. Z kolei soczewki typu EDOF dzięki bardziej ciągłemu profilowi optycznemu oferują płynniejsze przejścia między odległościami oraz mniejsze nasilenie zjawisk olśnienia i halo, jednak często nie zapewniają tak wysokiej jakości widzenia z bliska jak konstrukcje wielogniskowe [5, 6]. Ograniczenie to może być odczuwalne podczas wykonywania czynności wymagających dużej precyzji wzrokowej, takich jak czytanie drobnego druku czy prace manualne.

Współczesne podejście do projektowania soczewek IOL coraz częściej uwzględnia także wykorzystanie zaawansowanych narzędzi symulacyjnych, w tym urządzeń do wirtualnej implantacji, które umożliwiają ocenę potencjalnych

TABELA 1

Podsumowanie właściwości soczewek wewnątrzgałkowych [1].

Typ IOL	SA/optyka	Zakres ostrości (focus)	Cel – oko dominujące	Cel – oko niedominujące	Uwagi kliniczne
Jednoogniskowa (asferyczna)	neutralna/kompensująca SA rogówki	jednoognisko (dal)	plano do +0,25 D	-1,25 D do -2,00 D (monowizja) lub plano do +0,25 D	klasyczna monowizja; wymaga większej anizometrii
Jednoogniskowa ulepszona (+SA)	dodatnia SA	poszerzona głębia ostrości (lekko)	-0,25 D do +0,25 D	-0,50 D do -1,00 D lub -0,25 D do +0,25 D	lepsza tolerancja lekkiej krótkowzroczności
EDOF (nośnik -SA)	ujemna SA (wydłużenie ogniska)	ciągły zakres (daleko-pośredni)	plano do +0,25 D	-0,50 D do -0,75 D lub plano do +0,25 D	miopia pogarsza jakość; lepszy lekko plusowy cel w oku dominującym
Wielogniskowa dyfrakcyjna	podział światła (kilka ognisk)	dal + bliż + pośredni	plano do +0,25 D	plano do +0,25 D	wymaga bardzo precyzyjnej emmetropii; unikać błędów krótkowzrocznego
Optyka spiralna	niejednoznaczność optyczna ( <i>spiral phase</i> )	potencjalnie ciągły zakres	plano do +0,25 D	plano do -0,25 D	koncepcja eksperymentalna; w trakcie badań

EDOF (*extended depth of focus*) – soczewki o wydłużonej głębi ostrości; IOL (*intraocular lens*) – soczewki wewnątrzgałkowe; SA – aberracja sferyczna.

wyników widzenia oraz lepsze dopasowanie implantu do indywidualnych potrzeb pacjenta [7].

## OPTYKA SPIRALNA

Optyka spiralna stanowi nowe podejście do projektowania soczewek wewnątrzgałkowych, w którym zamiast klasycznego podziału światła na kilka dyskretnych ognisk wykorzystuje się ciągłą modulację fazy w układzie spiralnym. Taka konstrukcja prowadzi do powstania wydłużonego obszaru ogniskowania wzdłuż osi optycznej, co przekłada się na uzyskanie ciągłego zakresu widzenia od dali do bliży, przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo stabilnej jakości obrazu. W przeciwieństwie do soczewek dyfrakcyjnych multifokalnych optyka spiralna nie opiera się na rozdzielaniu energii świetlnej pomiędzy konkurujące ogniska, dzięki czemu potencjalnie zostają ograniczone zjawiska dysfotopsji, takie jak halo i olśnienia. Dodatkowo optyka spiralna wykazuje mniejszą zależność od średnicy źrenicy oraz warunków oświetlenia, co ma istotne znaczenie dla codziennej funkcji wzrokowej pacjentów [8–10]. Z klinicznego punktu widzenia technologia ta może stanowić obiecującą alternatywę dla soczewek EDOF i multifokalnych, oferując kompromis między szerokim zakresem ostrości a jakością widzenia, choć jej skuteczność i przewidywalność wymagają dalszej oceny w badaniach klinicznych.

W przełomowym badaniu klinicznym przeprowadzonym przez Abela-Formanek i wsp. [2] po raz pierwszy oceniono skuteczność i jakość widzenia pozastosowaniu soczewki wewnątrzgałkowej wykorzystującej optykę spiralną (Ray-One Galaxy, Rayner). Badanie miało charakter złożony i obejmowało zarówno etap przedkliniczny, jak i analizę wyników klinicznych po implantacji soczewki. W części

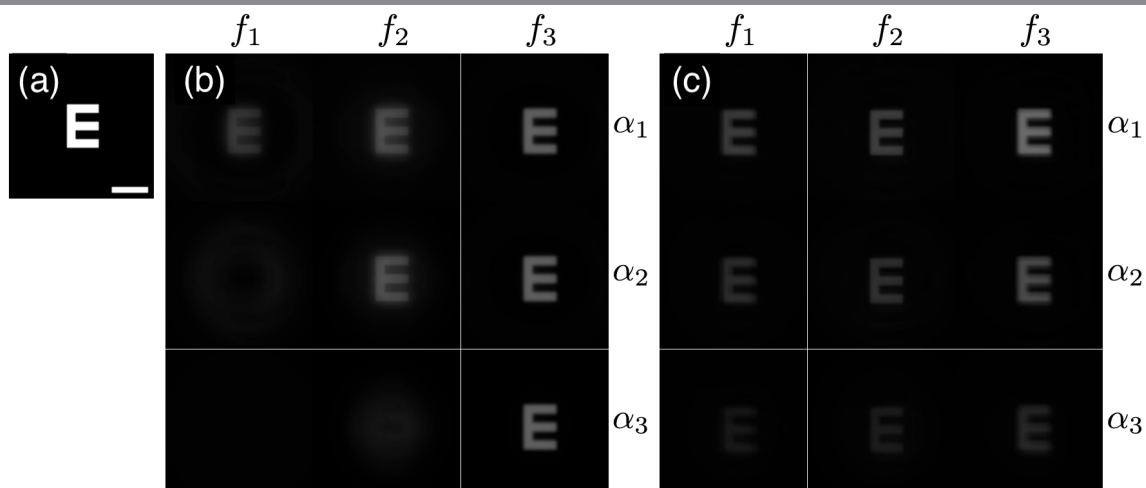
przedklinicznej zastosowano zaawansowany system symulacji widzenia pseudofakijnego (RALV), umożliwiającą ocenę jakości widzenia u zdrowych uczestników bez konieczności implantacji soczewki. Analizowano ostrość wzroku do dali, do odległości pośrednich i do bliży, czułość kontrastu, przebieg krzywej *defocus* oraz wielkość i nasilenie zjawisk dysfotopsji (halo i olśnienia). Wyniki porównano bezpośrednio z wynikami klasycznej soczewki trójogniskowej o konstrukcji dyfrakcyjnej. Wykazano, że zakres ostrości uzyskiwany dzięki optyce spiralnej jest porównywalny, jednak przy istotnie mniejszym nasileniu halo i olśnienia, a także przy wyraźnej preferencji subiektywnej pacjentów dla soczewki spiralnej we wszystkich odległościach.

Część kliniczna obejmowała pacjentów po obustronnej implantacji soczewki spiralnej w wielu ośrodkach, a główną ocenę przeprowadzono po 3 miesiącach obserwacji. Uzyskane wyniki wykazały bardzo dobrą ostrość wzroku w całym zakresie odległości – średnia skorygowana ostrość wzroku wynosiła ok. -0,03 logMAR dla dali, 0,05 logMAR dla odległości pośrednich oraz 0,08 logMAR dla bliży, z dalszą poprawą przy widzeniu obuocznym. Szczególnie istotnym wynikiem była charakterystyka krzywej *defocus*, która przyjmowała postać płaskiego, ciągłego *plateau*, zapewniając utrzymanie ostrości wzroku na poziomie co najmniej 0,2 logMAR (20/32) w szerokim zakresie ok. 4,0 D, sięgającym odległości ok. 35 cm.

W odróżnieniu od klasycznych soczewek trójogniskowych, które generują dyskretny piki ogniskowe, optyka spiralna umożliwia płynny rozkład mocy optycznej i eliminację luk defocusowych, co przekłada się na bardziej naturalne przejścia między odległościami. Jednocześnie zaobserwowano bardzo korzystny profil bezpieczeństwa – ponad 95% pacjentów zgłaszało jedynie łagodne objawy halo i olśnienia

### RYCINA 1

Symulowany obraz (a): uzyskany dla (b) soczewki trójogniskowej, (c) soczewki spiralnej; obliczony dla różnych optymalnych ognisk ( $f$ ) i apertur ( $\alpha$ ). Skala w (c) wynosi 5 arc min [8].



lub ich brak, a nasilenie tych zjawisk było istotnie niższe niż w przypadku soczewek dyfrakcyjnych ocenianych w analogicznych warunkach. Dodatkowo wykazano przewagę optyki spiralnej w zakresie czułości kontrastu, co przypisuje się brakowi dyfrakcyjnego podziału światła i ograniczeniu strat energii optycznej. W badaniu przedklinicznym większość uczestników preferowała soczewkę spiralną względem trójogniskowej (do 90% wskazań w zależności od odległości), co podkreśla znaczenie jakości widzenia, a nie jedynie zakresu ostrości.

## PODSUMOWANIE

Współczesna chirurgia zaćmy ewoluuje od procedury przywracającej tylko przejerność ośrodków optycznych oka do zaawansowanej chirurgii refrakcyjnej, której celem jest uzyskanie jak najwyższej jakości widzenia na wszystkie odległości. Pomimo bardzo dobrych wyników funkcjonalnych uzyskiwanych po zastosowaniu soczewek multifokalnych

(zwłaszcza trójogniskowych), ich konstrukcja oparta na podziale światła wiąże się z nieuniknionymi kompromisami w postaci obniżenia czułości kontrastu oraz występowania zjawisk dysfotopsji. Soczewki typu EDOF stanowią próbę ograniczenia tych efektów poprzez wydłużenie ogniska i zapewnienie bardziej ciągłego widzenia, jednak kosztem jakości widzenia z bliska. W tym kontekście optyka spiralna jawi się jako obiecująca nowa koncepcja, która dzięki ciągłej modulacji fazy daje szansę uzyskania szerokiego zakresu ostrości bez konieczności klasycznego podziału światła. Wstępne wyniki badań eksperymentalnych i klinicznych sugerują, że technologia ta może łączyć zalety soczewek multifokalnych i EDOF, oferując jednocześnie poprawę jakości obrazu i redukcję niepożądanych zjawisk optycznych. Niezbędne są jednak dalsze, dobrze zaprojektowane badania kliniczne w celu potwierdzenia jej skuteczności, bezpieczeństwa oraz przewidywalności wyników w długoterminowej obserwacji.

### ADRES DO KORESPONDENCJI

dr n. med. Bogumił Wowra

Oddział Kliniczny Okulistyki, Wydział Nauk Medycznych  
w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
40-760 Katowice, ul. Panewnicka 65  
e-mail: bogumilwowra@gmail.com

### ORCID

Bogumił Wowra – ID – <https://orcid.org/0000-0002-5875-6586>  
Olga Łach-Wojnarowicz – ID – <https://orcid.org/0000-0003-1323-8440>  
Dariusz Dobrowolski – ID – <https://orcid.org/0000-0002-8768-1691>  
Edward Wylęgała – ID – <https://orcid.org/0000-0002-6707-5790>

## Piśmiennictwo

1. Skrzypecki J, Przybek-Skrzypecka J. Impact of Intraocular Lens Design on Refractive Endpoint Selection: A Call for a New Paradigm. *Clin Ophthalmol.* 2025; 19: 4325-34. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S552549>.
2. Abela-Formanek C, Amon M, Auffarth GU et al. Performance of the First Spiral Refractive Intraocular Lens for Continuous Full Range of Vision. *J Refract Surg.* 2025; 41(11): e1213-e1222. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20250829-01>.
3. Llovet-Rausell A, Ortega-Usobiaga J, Albarrán-Diego C et al. Visual outcomes and patient satisfaction after bilateral refractive lens exchange with a trifocal intraocular lens in 5,226 patients with presbyopia. *J Refract Surg.* 2024; 40(7): e468-79. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20240517-01>.
4. Brezna W, Lux K, Dragostinoff N et al. Psychophysical vision simulation of diffractive bifocal and trifocal intraocular lenses. *Transl Vis Sci Technol.* 2016; 5(5): 13. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.5.13>.
5. Karasu B, Kesim E, Çelebi ARC. Surgical outcomes of a novel non-diffractive, extended depth-of-focus intraocular lens – preliminary results from a phase 4 study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2026 Mar 27: 105446. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2026.105446>.
6. Vora SJ, Ebenezar A, Chaitanya B et al. Comparison of Outcomes of Non-diffractive Extended Depth of Focus Intraocular Lens and Diffractive Extended Depth of Focus Intraocular Lens. *Cureus.* 2025; 17(9): e91413. <https://doi.org/10.7759/cureus.91413>.
7. Marx S, Kolbe O, Gerlach M et al. The ability of a virtual implantation device to evaluate two intraocular lens designs. *J Refract Surg.* 2024; 40(12): e911-5. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20240923-01>.
8. Galinier L, Renaud-Goud P, Brusau J et al. Spiral diopter: freeform lenses with enhanced multifocal behavior. *Optica.* 2024; 11(2): 238-44.
9. Rementeria-Capelo LA, Contreras I, Garcia-Perez JL et al. Visual performance and impact of residual refractive errors with trifocal intraocular lenses of different aspheric design. *Eur J Ophthalmol.* 2022 Dec 18: 11206721221144928. <https://doi.org/10.1177/11206721221144928>.
10. Locher M, Wu D, Courtial J. Spiral adaptive Fresnel lens: generalizations, improvements, and augmented-reality/virtual-reality simulations. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2025; 42(11): 1667-76. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.570722>.

**Wkład autorów:**

Bogumił Wowra: koncepcja pracy, opracowanie manuskryptu, analiza danych.  
Olga Łach-Wojnarowicz: przegląd literatury, redakcja manuskryptu.  
Dariusz Dobrowolski: nadzór merytoryczny, korekta naukowa.  
Edward Wylegała: koncepcja badania, nadzór naukowy, ostateczna akceptacja wersji do publikacji.

**Konflikt interesów:**

Brak.

**Finansowanie:**

Brak.

**Etyka:**

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

**Authors' contributions:**

Bogumił Wowra: study concept, manuscript preparation, data analysis.  
Olga Łach-Wojnarowicz: literature review, manuscript editing.  
Dariusz Dobrowolski: substantive supervision, scientific revision.  
Edward Wylegała: study design, scientific supervision, final approval of the manuscript.

**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.