

**UNIWERSYTET MEDYCZNY IM. PIASTÓW ŚLĄSKICH WE WROCŁAWIU**

**WYDZIAŁ LEKARSKI**

**Katedra i Klinika Okulistyki**

**Kierownik: prof. dr hab. n. med. Marta Misiuk-Hojło**

**Eunika Krzywy-Daroszewska**

**Wpływ długości gałki ocznej na osiągnięcie zamierzonego efektu  
refrakcyjnego po wszczepieniu soczewki torycznej**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**Promotor**

**prof. dr hab. n. med. Marta Misiuk-Hojło**

**WROCŁAW, 2023**

Promotorowi niniejszej pracy doktorskiej  
*Pani Profesor Marcie Misiuk-Hojło*  
pragnę podziękować za życzliwość,  
nieocenioną pomoc i opiekę naukową

Za inspirację, życzliwość i dodawanie wiary  
we własne siły dziękuję *Kierownikowi Kliniki*  
*Okulistyki 4 Wojskowego Szpitala*  
*Klinicznego we Wrocławiu*  
*płk dr n. med. Robertowi Leszkowi*

Dziękuję *moim Rodzicom* za wyposażenie  
mnie w „korzenie i skrzydła”,  
*Mężowi* za wsparcie,  
*Dzieciom* za wyrozumiałość

## SPIS TREŚCI

WYKAZ TABELI I RYCIN .....	7
1. WSTĘP .....	9
1.1. Zaćma .....	9
1.1.1. Definicja.....	9
1.1.2. Epidemiologia.....	9
1.1.3. Klasyfikacja .....	9
1.1.4. Patogeneza .....	10
1.1.5. Objawy kliniczne .....	11
1.1.6. Diagnostyka i planowanie zabiegu .....	11
1.1.6 a Obliczanie mocy soczewki wewnątrzgałkowej.....	12
1.1.6 b Efektywna pozycja soczewki .....	14
1.1.7. Cele operacji.....	15
1.1.8. Wskazania do operacji .....	15
1.1.9 Zabieg usunięcia zaćmy.....	16
1.1.10. Powikłania śródoperacyjne .....	17
1.1.11. Opieka pooperacyjna .....	18
1.1.12. Powikłania pooperacyjne .....	18
1.2. Astygmatyzm .....	19
1.2.1. Definicja.....	19
1.2.2. Epidemiologia.....	20
1.2.3. Klasyfikacja .....	20
1.2.3a Astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki .....	22
1.2.3b Astygmatyzm soczewkowy .....	23
1.2.3c Astygmatyzm indukowany chirurgicznie .....	24
1.2.4. Objawy kliniczne .....	25
1.2.5. Zależność astygmatyzmu od wieku.....	25
1.2.6. Diagnostyka astygmatyzmu .....	26
1.2.7. Metody leczenia astygmatyzmu .....	26
1.2.8. Soczewki toryczne .....	27
1.2.9. Wskazania do wszczęcia soczewki torycznej.....	29
1.2.10. Przeciwwskazania do wszczęcia soczewki torycznej .....	30
1.2.11. Zabieg wszczęcia soczewki torycznej.....	30
1.2.12. Przyczyny nieosiągnięcia zamierzonego efektu refrakcyjnego .....	31
1.3. Wpływ długości gałki ocznej na zabieg usunięcia zaćmy .....	33
1.3.1. Oczy o dużej długości gałki ocznej .....	33

1.3.2. Oczy o małej długości gałki ocznej .....	33
2. CEL I ZAŁOŻENIA PRACY .....	35
3. PACJENCI I METODY .....	36
3.1. Pacjenci .....	36
3.2. Kryteria włączenia i wyłączenia z badania .....	37
3.3. Metody badania .....	38
3.4. Metody statystyczne .....	43
4. WYNIKI .....	45
4.1. Płeć .....	45
4.2. Wiek .....	46
4.3. Sferyczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej .....	47
4.4. Sferyczna komponenta refrakcji po 3 miesiącach od zabiegu .....	47
4.5. Cylindryczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej .....	49
4.6. Cylindryczna komponenta refrakcji po 3 miesiącach od zabiegu .....	49
4.7. Przedoperacyjny ekwiwalent sferyczny .....	50
4.8. Ekwiwalent sferyczny po 3 miesiącach od zabiegu .....	51
4.9. Stabilność rotacyjna .....	51
4.10. Kierunek rotacji pooperacyjnej po 3 miesiącach od zabiegu .....	54
4.11. Wartość rotacji pooperacyjnej zgodnej z ruchem wskazówek zegara (CWR) po 3 miesiącach od zabiegu .....	55
4.12. Wartość rotacji pooperacyjnej przeciwnej do ruchu wskazówek zegara po 3 miesiącach .....	57
4.13. Porównanie sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach .....	59
4.14. Zależność sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach .....	61
4.15. Porównanie cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach .....	62
4.16. Zależność cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach .....	65
4.17. Porównanie przed- i pooperacyjnego ekwiwalentu sferycznego we wszystkich grupach .....	68
4.18. Zależność przed- i pooperacyjnego ekwiwalentu sferycznego od długości gałki ocznej we wszystkich grupach.....	70
4.19. Przedoperacyjna nieskorygowana ostrość wzroku .....	72
4.20. Przedoperacyjna najlepsza skorygowana ostrość wzroku .....	72
4.21. Pooperacyjna nieskorygowana ostrość wzroku .....	72
4.22. Pooperacyjna najlepsza skorygowana ostrość wzroku .....	73

4.23. Różnica nieskorygowanej ostrości wzroku przed- i pooperacyjnej .....	73
4.24. Różnica najlepszej skorygowanej ostrości wzroku przed- i pooperacyjnej.....	75
4.25. Porównanie przed- i pooperacyjnej keratometrii przedniej powierzchni rogówki zmierzonej za pomocą aparatów Master 700 i Pentacam.....	77
4.26. Zmiany w czasie keratometrii przedniej powierzchni rogówki mierzonej na aparatach Master700 i Pentacam we wszystkich grupach przed- i po zabiegu.....	78
4.27. Zgodność pomiarów mocy astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki mierzonej na aparatach Pentacam i Master700.....	78
4.28. Rozbieżność pomiędzy spodziewanym a rzeczywistym astygmatyzmem resztkowym.	79
4.29. Zmiana głębokości komory przedniej (ACD) przed i po zabiegu w 3 grupach .....	80
4.30. Wpływ głębokości komory przedniej na pooperacyjną rotację IOL.....	82
4.31. Wpływ głębokości komory przedniej na pooperacyjny wynik refrakcyjny .....	83
4.32. Wpływ rodzaju astygmatyzmu na kierunek pooperacyjnej rotacji IOL .....	84
4.33. Wpływ pooperacyjnej rotacji soczewki na UCVA.....	84
4.34. Zmiana mocy astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki po zabiegu usunięcia zaćmy w zależności od rodzaju astygmatyzmu.....	85
4.35. Ankieta satysfakcji pacjenta .....	87
5 DYSKUSJA .....	89
5.1. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na pooperacyjną stabilność soczewki .....	89
5.2. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na refrakcję pooperacyjną .....	90
5.3. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na głębokość komory przedniej .....	93
5.4. Omówienie wpływu rodzaju astygmatyzmu na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.....	94
5.5. Omówienie badania zgodności przed- i pooperacyjnych pomiarów keratometrii uzyskanych za pomocą aparatów IOLMaster700 oraz Pentacam.....	95
5.6. Omówienie subiektywnych korzyści odniesionych przez pacjentów .....	96
5.6. Podsumowanie.....	96
6. WNIOSKI .....	100
7. STRESZCZENIE.....	<b>Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.</b>
8. ABSTRACT .....	105
9. PIŚMIENNICTWO .....	109

## SKRÓTY

AL (axial length)	długość osiowa gałki ocznej
ATR (against-the-rule astigmatism)	astygmatyzm przeciwny regule
BCDVA (best corrected distance visual acuity)	najlepsza skorygowana ostrość wzroku
CCWR (counterclockwise rotation)	rotacja przeciwna do ruchu wskazówek zegara
CWR (clockwise rotation)	rotacja zgodna z ruchem wskazówek
ELP (effective lens position)	efektywna pozycja soczewki
IOL (intraocular lens)	soczewka wewnątrzgałkowa
IQR (interquartile range)	rozstęp ćwiartkowy
LOCS III (lens opacities classification system III)	skala oceny stopnia zmętnienia soczewki
MAE (mean absolute error)	średni błąd bezwzględny
ME (mean error)	średni błąd
OVD (ophthalmic viscosurgical devices)	substancja wiskoelastyczna
PE (prediction error)	błąd prognozy
SD (standard deviation)	odchylenie standardowe
SIA (surgically induced astigmatism)	astygmatyzm indukowany chirurgicznie
TA (total astigmatism)	astygmatyzm całkowity
TASS (Toxic Anterior Segment Syndrome)	toksyczny zespół przedniego odcinka
TCA (total corneal astigmatism)	całkowity astygmatyzm rogówkowy
UCDVA (uncorrected distance visual acuity)	nieskorygowana ostrość wzroku
WTR (with-the-rule astigmatism)	astygmatyzm zgodny z regułą

## WYKAZ RYCIN I TABELI

Ryc. 1. Badanie oka z astygmatyzmem WTR wykonane za pomocą obrotowej kamery Scheimpfluga.....	20
Ryc.2. Przykłady mapy topograficznej przedniej powierzchni rogówki; odpowiednio: astygmatyzm WTR, skośny oraz ATR.....	21
Ryc.3. Soczewka toryczna jako wycinek zewnętrznej krawędzi torusa. ....	27
Ryc.4. Soczewka toryczna 3 miesiące po zabiegu .....	30
Ryc.5. Wydruk obliczenia mocy torycznej soczewki wewnątrzgałkowej ze strony Alcon Toric Calculator .....	39
Ryc.6. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko z soczewką własną z zadaniem rozmiarem kapsuloreksy.....	41
Ryc.7. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko po usunięciu zaćmy przed wszczępieniem sztucznej soczewki z narzuconą osią jej ustawienia .....	41
Ryc.8. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko po wszczępieniu sztucznej soczewki torycznej. Widoczne markery na soczewce pokrywające się z narzuconą osią jej ustawienia .....	42
Ryc.9. Określanie rzeczywistej osi ustawienia wszczępionej soczewki torycznej za pomocą aplikacji Goniotrans.....	43
Ryc.10. Struktura grup według płci.....	45
Ryc.11. Prezentacja grup według przedziałów wiekowych.....	46
Ryc.12. Wartości bezwzględne rotacji pooperacyjnej po 3 miesiącach w każdej z grup.....	52
Ryc.14. Porównanie wartości bezwzględnych sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach.....	59
Ryc. 15. Wykres zmiany sferycznej komponenty refrakcji w czasie we wszystkich grupach.....	60
Ryc.16. Zależność sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach .....	61
Ryc.17. Wartości bezwzględne cylindrycznej komponenty wady refrakcji przed zabiegiem oraz 2 tygodnie i 3 miesiące po zabiegu we wszystkich grupach .....	62
Ryc. 18. Wykres zmiany cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej w czasie we wszystkich grupach .....	63
Ryc.19. Analiza wektorowa astygmatyzmu przed- oraz pooperacyjnego we wszystkich grupach .....	64
Ryc.20. Zależność wartości bezwzględnych cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach.....	65
Ryc.21. Korelacja mocy cylindra i odległości długości gałki ocznej od normy (22-24.5mm) .....	67
Ryc.22. Wartości bezwzględne SE przed zabiegiem oraz 2 tygodnie i 3 miesiące po zabiegu we wszystkich grupach .....	68
Ryc.23. Wykres zmiany wartości ekwiwalentu sferycznego przed i po operacji we wszystkich grupach .....	69

Ryc.24. Zależność wartości przed- i pooperacyjnego SE od długości gałki ocznej we wszystkich grupach .....	70
Ryc.25. Korelacja ekwiwalentu sferycznego i odległości długości gałki ocznej od normy (22-24.5mm).....	71
Ryc.26. Wykres zmiany UCDVA w czasie we wszystkich grupach.....	74
Ryc.27. Wykres zmiany UCDVA w czasie w zależności od długości gałki ocznej we wszystkich grupach .....	74
Ryc.28. Wykres zmiany BCVA w czasie we wszystkich grupach.....	75
Ryc.29. Rysunek zmiany BCDVA w czasie we wszystkich grupach.....	76
Ryc.30. Wykres zmiany BCDVA w czasie w zależności od długości gałki ocznej we wszystkich grupach.....	77
Ryc.31. Analiza wektorowa astygmatyzmu resztkowego spodziewanego i rzeczywistego.....	79
Ryc.32. Różnica głębokości komory przedniej (w milimetrach) przed i po zabiegu usunięcia zaćmy .....	80
Ryc.33. Porównanie różnicy głębokości ACD we wszystkich grupach przed i po zabiegu .....	81
Ryc.34. Wykres zależności rotacji pooperacyjnej od pooperacyjnej głębokości ACD we wszystkich grupach .....	82
Ryc.35. Wykres zależności SE od pooperacyjnej głębokości ACD we wszystkich grupach .....	83
Ryc.36. Zależność UCDVA od rotacji pooperacyjnej we wszystkich grupach .....	84
Ryc.37. Zmiana mocy astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki po zabiegu w astygmatyzmie ATR, skośnym i WTR.....	86
Tabela 1.Charakterystyka grup według refrakcji pooperacyjnej w sferze (D) .....	48
Tabela 2. Charakterystyka grup według refrakcji pooperacyjnej w cylindrze (Dcyl) .....	50
Tabela 3. Charakterystyka grup według kierunku rotacji pooperacyjnej .....	55
Tabela 4 Charakterystyka grup z rotacją CWR według wartości rotacji pooperacyjnej .....	56
Tabela 5. Charakterystyka grup z rotacją CWR według wartości rotacji pooperacyjnej .....	58
Tabela 6. Analiza jakościowa astygmatyzmu resztkowego we wszystkich grupach po 2 tygodniach i 3 miesiącach od zabiegu.....	66
Tabela 7. Analiza jakościowa SE po 2 tygodniach i 3 miesiącach.....	71
Tabela 8. Wyniki ankiety satysfakcji pacjentów po zabiegu z podziałem na grupy badane .....	88



## 1. WSTĘP

### 1.1. Zaćma

#### 1.1.1. Definicja

Soczewka jest przezroczystą dwuwypukłą strukturą o mocy łamiącej około 20D, która pomaga skupić światło na siatkówce. Wraz z rogówką tworzą one układ optyczny oka, który w sumie ma moc około 62D w oku nieakomodującym. Soczewka zbudowana jest z włókien i otoczona torebką, której grubość w centrum części tylnej, czyli miejscu najcieńszym, wynosi 5-7 $\mu$ m. Soczewka jest podtrzymywana przez pierścień włókienek łączących równik soczewki z wyrostkami ciała rzęskowego. Soczewka rośnie stale przez całe życie człowieka (1). Zaćmą nazywamy utratę przez soczewkę przejrzystości.

#### 1.1.2. Epidemiologia

Zaćma jest wiodącą przyczyną upośledzenia ostrości wzroku na świecie, szczególnie w krajach rozwijających się. WHO ocenia, że około 94 milionów osób doświadczało upośledzenia ostrości wzroku ze względu na zaćmę (2). Odsetek populacji dotknięty zaćmą rośnie wraz z wiekiem: w białej populacji zaćma dotyczy 9.4% osób w wieku 55-59 lat, 26% w wieku 70-74 i 76.6% osób powyżej 80 roku życia (3,4). Wykazano również, że obecność zaćmy związana jest z wyższą śmiertelnością, być może z powodu częstszego współwystępowania chorób takich jak cukrzyca, zespół metaboliczny czy nikotynizm. W ostatnich dekadach, ze względu na upowszechnienie się operacji zaćmy (wg danych Eurostatu (5)) -4.7 milionów zabiegów w 2017 w krajach członkowskich EU), zaćma odpowiada jedynie za 5% ślepoty w krajach rozwiniętych. Natomiast w krajach rozwijających się ten odsetek nadal utrzymuje się na poziomie 50%. Według raportu WHO na świecie w 2020 roku było 17.8 milionów osób niewidomych (ślepotą definiowana jako ostrość wzroku gorsza niż 3/60) z powodu zaćmy (6).

#### 1.1.3. Klasyfikacja

Z uwagi na przyczynę, zaćmę można podzielić na zaćmę związaną z wiekiem, metaboliczną, dziecięcą oraz zaćmę wtórną (7). Zaćmę związaną z wiekiem, z uwagi na miejsce występowania zmętnienia, dzielimy na jądrową (29,7%), korową (22,9%) oraz podtorebkową tylną (8,4%) (8). Zmętnienie w centrum i zażółcenie są cechami

charakterystycznymi zaćmy jądrowej. Zaćma korowa często przybiera kształt klinów, które rozciągają się od obwodu do centrum. W zaćmie podtorebkowej tylnej zmętnienie formuje się w tylnej warstwie korowej. Zwykle u jednego pacjenta występuje więcej niż jeden rodzaj zaćmy.

O zaćmie wrodzonej mówimy, gdy zmętnienie soczewki obecne jest już przy urodzeniu. Zaćma niemowlęca pojawia się w ciągu pierwszego roku życia. Zaćmy wieku dziecięcego mogą być jednostronne lub obustronne w zależności od przyczyny. Około 1/3 przypadków tych zaćm to przypadki dziedziczne, kolejna 1/3 związana jest z innymi patologiami narządu wzroku lub występowaniem zespołu wielonarządowego, w pozostałych przypadkach przyczyna pozostaje nieznana (9).

Zaćma metaboliczna ma związek z występowaniem chorób przemiany materii. W cukrzycy dochodzi do zmian w soczewce wywołanych glukozą. Nagłe pojawienie się lub pogłębienie krótkowzroczności może wskazywać na źle uregulowaną cukrzycę (10). U osób z galaktozemią pojawia się zaćma typu „kropli oleju”. Hipokalcemia powoduje zmętnienia pod przednią i tylną torebką soczewki. Zaćma słonecznikowa typowa jest dla choroby Wilsona. Dystrofia miotoniczna powoduje wystąpienie zaćmy „choinkowej”, wyglądającej jak wielobarwne błyszczące kryształki.

#### 1.1.4. Patogeneza

Komórki nabłonkowe są najbardziej aktywnymi metabolicznie komórkami soczewki. Migrują one do równika soczewki, gdzie formują włókna, które stopniowo przesuwiają się ku centrum. Zatem jądro soczewki zbudowane jest ze starszych włókien, co skutkuje jego stwardnieniem, a nowe włókna tworzą warstwę korową soczewki. Soczewka jest bogata w białko. W starszym wieku w soczewce dochodzi do zmniejszenia się ilości lub zaniku białek rozpuszczalnych, natomiast rośnie ilość białek nierozpuszczalnych. Proteazy w soczewce są czynne przy bardziej kwaśnym pH; zakwaszenie organizmu powoduje rozpad białka i zmętnienie soczewki (1). Utrata przejrzystości soczewki jest spowodowana stresem oksydacyjnym (11).

Powstanie zaćmy wiąże się z występowaniem cukrzycy oraz zespołu metabolicznego (12). Zaćma może być indukowana lekami. Długoterminowe stosowanie glikokortykosteroidów wiąże się z powstaniem zaćmy tylnotorebkowej. Inne leki

wpływające na zmętnienie soczewki to fenotiazyny, busulfan, miotyki i amiodaron (13,14). Zaćma może również powstać jako wynik urazu, jonizacji, promieniowania podczerwonego lub ultrafioletu oraz wtórnie do innych chorób okulistycznych jak: przewlekłe zapalenie błony naczyniowej, zespół pseudoeksfoliacji, heterochromicznego zapalenia ciała rzęskowego Fuchsa i in. Wykazano również wpływ palenia tytoniu na powstanie zaćmy (15).

#### 1.1.5. Objawy kliniczne

Pacjenci dotknięci zaćmą skarżą się na zamazane widzenie, na występowanie efektu *glare* czy *halo*. Poszczególne rodzaje zaćmy zaburzają widzenie na różny sposób. Zaćma jądrowa pogarsza bardziej widzenie na dalsze odległości, podczas gdy zaćma podtorebkowa tylna wywiera większy wpływ na widzenie do bliży. Zmiany w jądrze soczewki mogą prowadzić do wzrostu współczynnika refrakcji, co powoduje przesunięcie refrakcji w stronę krótkowzroczności. Pacjent doświadcza wtedy pogorszenia widzenia do dali z jednoczesną poprawą widzenia na bliskie odległości. Zjawisko *glare* dotyczy najczęściej pacjentów z zaćmą podtorebkową tylną. Jeśli w soczewce dojdzie do lokalnych zaburzeń współczynnika refrakcji pacjenci mogą również doświadczać dwojenia jednoocznego .

#### 1.1.6. Diagnostyka i planowanie zabiegu

Przed zabiegiem u każdego pacjenta kwalifikowanego do zabiegu usunięcia zaćmy należy przeprowadzić dokładny wywiad okulistyczny oraz wywiad dotyczący ogólnego stanu zdrowia i przyjmowanych leków. Następnie przeprowadza się szczegółowe badanie okulistyczne: badana jest ostrość wzroku, ciśnienie wewnątrzgałkowe, badanie w lampie szczelinowej z oceną stopnia zaawansowania zaćmy (skala LOCS III) oraz dna oka. W przypadku braku możliwości oceny dna oka wykonuje się USB B gałki ocznej. Przed podjęciem decyzji o zabiegu ocenia się stopień upośledzenia funkcjonowania wzrokowego pacjenta, szczególnie ograniczenia dotyczące podstawowych aktywności życiowych oraz potrzeb pacjenta. Po rozmowie z pacjentem od każdego należy uzyskać świadomą zgodę na przeprowadzenie zabiegu.

Skala LOCS III służy do oceny stopnia zmętnienia soczewki. Składa się z sześciu obrazów ukazujących stopniowanie koloru i opalescencji jądra soczewki, pięciu obrazów

przedstawiających zaćmę korową w różnym stopniu zaawansowania w retroiluminacji oraz pięciu obrazów zaćmy podtorebkowej tylnej również w retroiluminacji (16). W praktyce podczas kwalifikacji do zabiegu operator raczej polega na swoim doświadczeniu i rozmowie z pacjentem.

#### 1.1.6 a Obliczanie mocy soczewki wewnątrzgałkowej

Moc soczewki wewnątrzgałkowej oblicza się za pomocą biometrii optycznej lub ultrasonografii typu A (poprzez imersję lub aplanację kontaktową).

Biometr optyczny to bezkontaktowe urządzenie, które wykorzystuje podczerwone światło laserowe o długości fali 780nm oraz częściową interferometrię koherentną do pomiaru parametrów takich jak długość osiowa gałki ocznej, keratometria, grubość soczewki, głębokość komory przedniej (10).

Wyniki otrzymywane z biometru optycznego są dokładniejsze i wykazują większą powtarzalność od tych osiągniętych za pomocą ultrasonografii (17,18). W biometrach optycznych wykluczony został błąd wynikający z ucisku na rogówkę w trakcie wykonywania pomiaru. Ich ograniczeniem jest brak możliwości wykonania badania w przypadku bardzo intensywnej zaćmy ( ok.10% ) (19).

Pomyłka podczas pomiaru długości gałki ocznej o 1 mm skutkuje znacznym błędem refrakcji pooperacyjnej (w oku normowzrocznym daje około 2.35D błędu refrakcji); szczególnie ma to znaczenie w oczach nadwzrocznych, o małej długości gałki ocznej, w których błąd ten znacząco rośnie (w przypadku długości gałki 20mm, przy takiej samej pomyłce, błąd refrakcji wynosi około 3.75 D ) (20).

Do obliczenia odpowiedniej mocy soczewki wewnątrzgałkowej używa się wzorów teoretycznych. Obecnie zaleca się odstąpienie od stosowania starszych wzorów, które bazowały jedynie na długości osiowej gałki ocznej oraz mocy przedniej powierzchni rogówki. Zaleca się wzory trzeciej [SRK/T(1990), HofferQ (1993), Holladay1 (1988)] i czwartej generacji (np. Holladay 2, Haigis, Olsen C, Barrett II), które opierają się na przewidywaniu efektywnej pozycji soczewki oraz uwzględniają moc tylnej powierzchni rogówki (21,22). Wciąż tworzone są coraz to nowsze, bardziej zaawansowane i dokładne wzory; niektóre z nich opierające się na sztucznej inteligencji (Hill RBF, Kane) czy śledzeniu promieni (Olsen).

Koch zaleca odejście od tradycyjnego podziału formuł na generacje, a zamiast tego klasyfikowanie ich według metody, którą posługują się w obliczaniu mocy soczewek wewnątrzgałkowych, tj. metody historyczne, regresyjne, używające konwergencji (o 2,3,5 i 7 zmiennych), sztucznej inteligencji i śledzenia promieni (23).

W badaniu przeprowadzonym na ponad 8000 oczach wykazano, że formuła Hoffer Q jest dokładniejsza dla oczu krótkich, natomiast SRK/T – dla długich (24,25). W badaniu z 2023 roku, które objęło 100 oczu o długości gałki poniżej 22mm, potwierdzono największą skuteczność formuły HofferQ, EVO 2.0 i Kane w przewidywaniu najodpowiedniejszej mocy IOL dla krótkich gałek ocznych (26).

Badanie mające na celu porównanie skuteczności 7 formuł do kalkulacji IOL wykazało, że formuły te różniły się między sobą skutecznością przewidywania refrakcji pooperacyjnej. Błąd w zakresie  $\pm 0.5D$  występował u 72-80% w zależności od użytej formuły (Barrett Universal II, Haigis, Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, Olsen, and SRK/T) (27).

Aktualnie za „złoty standard” można uznać wzór Barret Universal II, szczególnie dla oczu o nietypowej budowie anatomicznej (np. długie oko z płytką komorą przednią, krótkie oko z głęboką komorą przednią etc.) (28–30). Kalkulator toryczny Barreta przewiduje astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki oraz ELP bazując na teoretycznym oku (istnieje już modyfikacja pozwalająca na wprowadzenie wyliczonych danych). Kalkulator toryczny Barreta do obliczeń bierze pod uwagę głębokość komory przedniej, długość gałki ocznej, współczynnik toryczności oraz SIA (27).

W celu zapewnienia jak najlepszego efektu refrakcyjnego, przy wyborze formuły ważne jest, aby miała ona dobrze zoptymalizowane stałe (31,32). Optymalizacja stałych to proces, podczas którego stała soczewki jest dopasowywana tak, aby zminimalizować PE. Nie odnosi się ona jedynie do soczewki, ale także do aparatu do pomiaru biometrii, populacji, techniki chirurgicznej (33). Optymalizacja stałej ma niewielki efekt na odchylenie standardowe, ale maksymalizuje odsetek oczu, których refrakcja mieści się w zamierzonym celu refrakcyjnym oraz minimalizuje MAE. Wykazano, że optymalizacja stałych znacząco poprawia dokładność przewidywania refrakcji pooperacyjnej przy

zastosowaniu biometrii optycznej (od 76–89% do 92–94% w przedziale  $\pm 1$  D w zależności od modelu soczewki oraz formuły) oraz ultrasonografii kontaktowej i imersyjnej (34).

Podczas obliczania mocy soczewki torycznej należy również wziąć pod uwagę astygmatyzm indukowany chirurgicznie (SIA). SIA różni się w zależności od chirurga, twardości zaćmy oraz czasu trwania zabiegu. Każdy chirurg może obliczyć swój SIA na podstawie serii przypadków za pomocą kalkulatora internetowego. Wykonując port główny w stromym południku zmniejsza się astygmatyzm rogówkowy o około 0,25D (35).

#### 1.1.6 b Efektywna pozycja soczewki

Efektywna pozycja soczewki to odległość od szczytu rogówki do głównej płaszczyzny sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej. Parametr ELP szacuje, w jakiej odległości za rogówką położona będzie sztuczna soczewka wewnątrzgałkowa po jej wszczępieniu. Jego prawidłowe oszacowanie skutkuje dokładniejszymi obliczeniami mocy IOL, a tym samym lepszym wynikiem refrakcyjnym.

W badaniu przeprowadzonym w Moorfields Eye Hospital w Londynie wykazano, że do obliczenia ELP wystarczające są pomiary długości gałki ocznej, keratometrii oraz głębokości komory przedniej (36).

Kiedy rośnie ELP, powinna też wzrosnąć moc soczewki. Analogicznie- z uwagi na odległość między szczytem rogówki a IOL, moc implantowanego cylindra powinna być większa niż moc cylindra w płaszczyźnie rogówki. Tym samym im wyższa ELP, tym wyższa różnica między cylindryczną mocą IOL podaną przez producenta a mocą cylindra w płaszczyźnie rogówki i ta sama IOL, jeśli zostanie umieszczona bardziej ku tyłowi, ma mniejszy efekt w płaszczyźnie rogówki niż umieszczona bardziej ku przodowi (37). Współczynnik pomiędzy mocą cylindra w płaszczyźnie IOL a mocą cylindra w płaszczyźnie rogówki zależy od przewidzianej głębokości komory przedniej. Najwyższe wartości występują w oczach długich ze stromymi rogówkami, najniższe- w oczach krótkich z płaskimi rogówkami. Niskie wartości współczynnika toryczności prowadzą do nadkorekcji astygmatyzmu w odniesieniu do danych podanych przez producenta soczewek, wysokie- do niedokorekcji astygmatyzmu. Oznacza to, że w przypadku wartości AL i K odbiegających od przeciętnych nie można pomijać wpływu głębokości

komory przedniej na moc cylindra w płaszczyźnie rogówki. Starsze kalkulatory toryczne używały standardowego współczynnika toryczności, zwykle 1.46, co powodowało niedokorekcję w oczach krótkowzrocznych, z większą ELP, a nadkorekcję w oczach nadwzrocznych, z mniejszą ELP (38).

Rogówki bardziej strome oraz dłuższe oczy wymagają zastosowania wyższych wartości współczynnika toryczności, podczas gdy bardziej płaskie rogówki i krótsze oczy wymagają niższego współczynnika toryczności do obliczenia mocy sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej. Dzieje się tak głównie dlatego, że oczy z bardziej ku tyłowi przesuniętą ELP wymagają wyższego współczynnika toryczności. Należy również zwrócić uwagę, że moc sferyczna IOL również wpływa na efektywną pozycję soczewki- soczewki o wyższych mocach są grubsze, co powoduje przesunięcie ELP ku przodowi. Analogicznie soczewki o niższych mocach mają ELP przesuniętą bardziej ku tyłowi (39).

#### 1.1.7. Cele operacji

Zabieg usunięcia zaćmy przeprowadza się w celu uzyskania przez pacjenta lepszej ostrości wzroku.

Jak dotąd jedynym skutecznym sposobem leczenia zaćmy jest chirurgiczne usunięcie zmętniałej soczewki. Aktualnie usunięcie zaćmy stało się najczęściej przeprowadzanym zabiegiem w krajach rozwiniętych, osiągając 4.7 miliona w 2017 roku w krajach członkowskich Unii Europejskiej (5).

Z uwagi na to, że nowe osiągnięcia w chirurgii zaćmy pozwalają na ciągłe poprawianie uzyskiwanych efektów refrakcyjnych oraz anatomicznych, usunięcie zaćmy staje się aktualnie również procedurą refrakcyjną.

#### 1.1.8. Wskazania do operacji

Wskazaniem do przeprowadzenia zabiegu usunięcia zaćmy jest spadek ostrości wzroku poniżej takiej, która umożliwi pacjentowi normalne funkcjonowanie.

W niektórych przypadkach wykonuje się go również jako zabieg przeciwjaskrowy lub zapobiegający wystąpieniu stanu zapalnego związanego z soczewką, bądź w celu umożliwienia prawidłowej wizualizacji siatkówki obwodowej w przypadku chorób siatkówki np. w retinopatii cukrzycowej (40).

### 1.1.9. Zabieg usunięcia zaćmy

Aktualnie standardową metodą usuwania zaćmy jest fakoemulsyfikacja z wszczepieniem zwijalnej sztucznej soczewki (99.7% zabiegów usunięcia zaćmy w Wielkiej Brytanii wykonywanych jest metodą fakoemulsyfikacji) (41). Jest to zabieg chirurgiczny, który polega na usunięciu zmętniałej soczewki własnej pacjenta za pomocą ultradźwięków przez małe cięcia wykonywane w rąbku rogówki. Technika fakoemulsyfikacji została zainaugurowana w latach 60 XX wieku przez Kelmana i nadal jest udoskonalana (42). Zyskała ona tak dużą popularność dzięki temu, iż rehabilitacja wzrokowa po zabiegu jest szybka, zabieg można przeprowadzić w trybie jednodniowym z użyciem każdego rodzaju znieczulenia włącznie z kroplowym. Powoduje ona też nieznaczny astygmatyzm pooperacyjny w porównaniu ze starszymi technikami usunięcia zaćmy.

Źrenice pacjenta przed zabiegiem są farmakologicznie poszerzane. Pacjent jest znieczulany- może to być znieczulenie miejscowe (kroplowe, okołogałkowe, pod torebkę Tennona, dokomorowe) lub, w wyjątkowych przypadkach, ogólne. Chirurg wykonuje cięcia w rogówce pozwalające na dostęp do komory przedniej. Obecnie standardowa szerokość cięcia wynosi 1,8–2,2 mm, co pozwala na zminimalizowanie astygmatyzmu indukowanego chirurgicznie, a tym samym lepszy efekt refrakcyjny (43). Następnie pęsetą torebkową lub kapsulotomem chirurg nacina torebkę przednią soczewki poszerzając otwarcie tak, by powstał okrągły centralny otwór, przez który usunięta będzie soczewka. Kapsuloreksa powinna być ciągła, okrągła i położona centralnie, co warunkuje stabilność soczewki wewnątrzgałkowej. W kolejnym etapie przez główne cięcie wprowadza się końcówkę fakoemulsyfikatora i za pomocą ultradźwięków usuwa soczewkę, a do torebki wszczepia sztuczną soczewkę o uprzednio obliczonej za pomocą biometrii mocy. Do komory przedniej podawany jest antybiotyk, cięcia w rogówce są uszczelniane.

Użycie lasera femtosekundowego podczas operacji zaćmy było po raz pierwszy opisane w roku 2010. Technologia ta umożliwiła zautomatyzowanie pewnych etapów zabiegu np. cięć rogówkowych, kapsulotomii przedniej czy fragmentacji jądra. Jednakże do udowodnienia pozostaje celowość użycia lasera femtosekundowego podczas usunięcia zaćmy szczególnie biorąc pod uwagę koszty (44).



Zabieg usunięcia zaćmy jest procedurą bezpieczną oraz skuteczną. Wraz z rozwojem technik chirurgicznych oraz technologii wykorzystywanych do produkcji soczewek wewnątrzgałkowych zabieg ten mógł się stać zabiegiem refrakcyjnym, pomagającym dostosować ostrość wzroku do potrzeb życiowych pacjenta. Obecnie istnieje już możliwość skorygowania astygmatyzmu soczewkami torycznymi, starczowzroczności-multifokalnymi lub o wydłużonej ogniskowej.

Błąd prognozy (PE) to różnica pomiędzy założoną a osiągniętą refrakcją pooperacyjną. Wyniki metaanalizy na 282810 oczach z bazy danych EUREQUO (45) z 2018 wykazały zmniejszenie PE, czyli poprawę efektów refrakcyjnych w porównaniu z wcześniejszymi badaniami. Średni błąd refrakcji wynosił 0,42D. U 75,1% pacjentów pooperacyjny ekwiwalent sferyczny był w przedziale  $\pm 0,5D$ . Największymi czynnikami ryzyka wystąpienia błędu refrakcji były: niska przedoperacyjna ostrość wzroku, współistniejące choroby oczu, stan po chirurgii refrakcyjnej, zmiany rogówkowe. W badaniu nie brano pod uwagę długości gałki ocznej. Metaanaliza wykazała również występowanie znacznych różnic PE między ośrodkami (46).

#### 1.1.10. Powikłania śródoperacyjne

Do najczęstszych powikłań śródoperacyjnych należy:

- przerwanie tylnej torby i upływ szkliski- 1,1%- przerwanie tylnej torby 6 raz zwiększa ryzyko zapalenia wnętrza gałki ocznej oraz 15 razy wystąpienie odwarstwienia siatkówki (47);
- utopienie jądra lub mas soczewkowych 0,45-1,7% (10);
- uszkodzenie tęczówki lub ciała rzęskowego 0,6-1,2%;
- oparzenie rany. Rany takiej nie da się uszczelnić, wymagane jest założenie szwu rogówkowego, co skutkuje m.in. niemożliwym do przewidzenia astygmatyzmem rogówkowym;
- przerwanie ciągłości kapsuloreksy, przerwanie przedniej torby;
- stwardnienie oka. Dochodzi do nagłego spłycenia komory przedniej, tęczówka wkleszcza się w rany rogówki. Przyczyn takiego stanu może być kilka: wystąpienie

krwiaka okołogałkowego po znieczuleniu, krwotok naczyńkowy, blok torebkowy oraz przemieszczenie się płynu między więzadłkami obwódki rzęskowej do komory ciała szklistego (48).

#### 1.1.11. Opieka pooperacyjna

Po zabiegu usunięcia zaćmy do worka spojówkowego podaje się maść z antybiotykiem, a na oko zakłada się pacjentowi jałowy opatrunek, który powinien zostać utrzymany co najmniej przez kilka godzin lub do czasu kontroli kolejnego dnia. Od pierwszego dnia po zabiegu przez minimum dwa tygodnie po zabiegu pacjent powinien stosować cztery razy dziennie krople z antybiotykiem oraz sterydem, ewentualnie dodatkowo krople zawierające niesterydowy lek przeciwzapalny dwa razy dziennie. Jeśli oko goi się dobrze a rana rogówki miała standardową szerokość po około 6 tygodniach po zabiegu można przeprowadzić badanie refrakcji i dobrać pacjentowi korekcję okularową.

#### 1.1.12. Powikłania pooperacyjne

Powikłania pooperacyjne dzielimy na wczesne i późne.

Wczesne:

- wzrost ciśnienia wewnątrzgałkowego 0,3-18,1%;
- obrzęk rogówki 0,1-5,4% (zwykle ustępuje po kilku tygodniach);
- toksyczny zespół przedniego odcinka (TASS) 0,1-2,1%;
- zdecentrowanie i przemieszczenie sztucznej soczewki 0,1-1,7%;
- nieszczelność rany 0,02-1,1%;
- zapalenie wnętrza gałki ocznej 0,006-0,04%. Jest to najniebezpieczniejsze powikłanie pooperacyjne. Czynnikiem ryzyka wystąpienia zapalenia wnętrza gałki ocznej są: przerwanie tylnej torby, upływ szklistki, choroby wpływające na układ odpornościowy np.cukrzyca, soczewki wykonane z silikonu, cięcia w przeźroczystej rogówce, płęć męska oraz starszy wiek (49).

Późne:

-zmętnienie torebki tylnej 0,3-28,4% -powstaje w wyniku proliferacji pozostałych komórek nabłonkowych. Meta-analiza wykazała, że soczewki o ostrych krawędziach rzadziej powodują powstanie zmętnienia torebki tylnej (50). Leczenie polega na wykonaniu YAG kapsulotomii tylnej czyli otworu optycznego w tylnej torebce soczewki;

-obrzęk plamki 1,2-11,0%- najczęściej występuje po 4-6 tygodniach po operacji. Czynniki ryzyka wystąpienia obrzęku plamki to przerwanie torby tylnej, cukrzyca typu 2, obecność błony nasiatkówkowej. Zwykle ustępuje po około 6 miesiącach (42);

-keratopatia pęcherzowa 0,3-5,4%;

-zwłóknienie torebki przedniej (*phimosis*) 0,47-3,3%;

-przewlekłe zapalenie przedniego odcinka błony naczyniowej 1,1-1,8%;

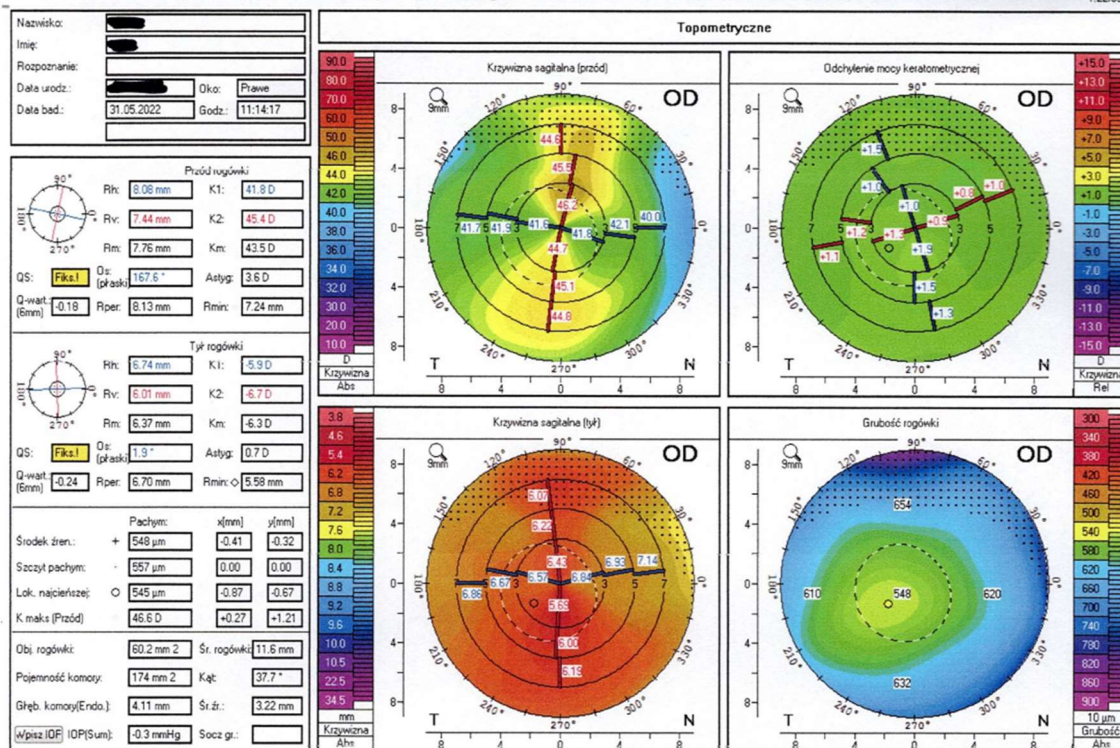
-odwarstwienie siatkówki 0,1-1,3%;

-zapalenie wnętrza gałki ocznej 0,017-0,05% (40) .

## 1.2. Astygmatyzm

### 1.2.1. Definicja

Astygmatyzm inaczej zwany jest niezbornością. Jest to wada wzroku spowodowana tym, że promienie świetlne inaczej załamują się w pionie, a inaczej w poziomie. W efekcie na siatkówce powstaje nieostry, zniekształcony obraz.



Ryc. 1. Badanie oka z astygmatyzmem WTR wykonane za pomocą obrotowej kamery Scheimpfluga

### 1.2.2. Epidemiologia

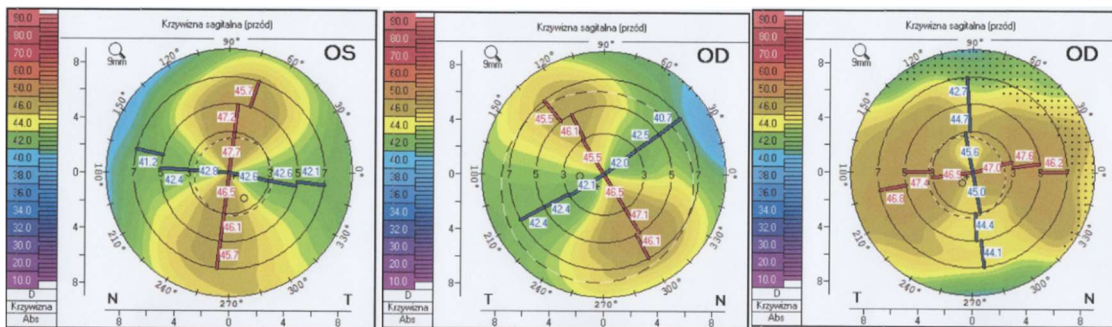
Przedoperacyjny astygmatyzm o mocy  $>1.0D$  występuje u około 40 % pacjentów kwalifikowanych do usunięcia zaćmy (51). 20% osób ma astygmatyzm  $>1.5D$  (52). Powyżej 2 D niezborności ma około 8% populacji, a powyżej 3D- 2,6% (53). Częstość występowania astygmatyzmu różni się w zależności od grupy etnicznej (54).

### 1.2.3. Klasyfikacja

Istnieje kilka sposobów klasyfikacji astygmatyzmu. Przede wszystkim astygmatyzm dzielimy na regularny i nieregularny. W przypadku astygmatyzmu regularnego najbardziej stromy i najbardziej płaski południk leżą w odległości  $90^\circ$  od siebie (55). Ogniskowa różni się w zależności od wyboru południka. Powoduje on, że promienie świetlne nie skupiają się w ognisku. Zamiast tego tworzą się dwie linie ogniskowe (20,56). W astygmatyzmie nieregularnym najbardziej stromy i najbardziej płaski południk leżą w odległości mniejszej niż  $90^\circ$ . Zwykle jest on spowodowany nieregularną przednią i tylną powierzchnią rogówki.

Astygmatyzm możemy też podzielić na astygmatyzm rogówkowy, na który składa się astygmatyzm przedniej i tylnej powierzchni rogówki oraz astygmatyzm soczewkowy. Suma astygmatyzmu przedniej i tylnej powierzchni rogówki daje całkowity astygmatyzm rogówkowy (TCA). Suma astygmatyzmu rogówkowego i soczewkowego daje astygmatyzm całkowity (TA).

Astygmatyzm regularny dzielimy na zgodny z regułą (WTR)- południk pionowy jest bardziej stromy ( $90^\circ \pm 30^\circ$ ), niezgodny z regułą (ATR)-południk poziomy jest bardziej stromy ( $180^\circ \pm 30^\circ$ ) oraz skośny, w którym oba południki główne leżą pod kątem  $90^\circ$  od siebie, ale nie są ani pionowe ani poziome ( $120-150^\circ$  oraz  $30-60^\circ$ ). Średnio astygmatyzm WTR występuje u 46.8% oczu, ATR- 34.4%, i skośny u 18.9% (53).



Ryc.2. Przykłady mapy topograficznej przedniej powierzchni rogówki; odpowiednio: astygmatyzm WTR, skośny oraz ATR

Astygmatyzm dzielimy również z uwagi na to, gdzie skupia się światło w odniesieniu do siatkówki. W przypadku astygmatyzmu prostego promienie w jednym południku skupiają się na siatkówce, w drugim poza nią. Jeśli skupiają się przed siatkówką- jest to astygmatyzm prosty krótkowzroczny. O astygmatyzmie prostym nadwzrocznym mówimy, kiedy w drugim południku promienie światła skupiają się za siatkówką. Astygmatyzm złożony występuje, kiedy promienie światła skupiają się w różnych punktach. Jeśli ma to miejsce przed siatkówką- jest to astygmatyzm złożony krótkowzroczny, jeśli za siatkówką- astygmatyzm złożony nadwzroczny. O astygmatyzmie mieszanym mówimy, kiedy w jednym południku promienie skupiają się przed, a w drugim za siatkówką.

### 1.2.3a Astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki

Wagę astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki pierwszy opisał Javal, a następnie podkreślił Koch (57).

Największą moc łamiącą w oku ma przednia powierzchnia rogówki ze względu na znaczną różnicę indeksu refrakcyjnego rogówki i powietrza. Jednakże wiadomo, że astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki, pomimo małej różnicy współczynnika refrakcyjnego płynu w komorze przedniej i rogówki, jest ważną przyczyną rozminięcia się z założonym celem refrakcyjnym (58). Astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki wpływa na całkowity astygmatyzm rogówkowy powodując jego zmianę o około 0.5D w stronę astygmatyzmu przeciwnego regule. Z tego wynika, że nie biorąc po uwagę astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki przeszacowujemy astygmatyzm zgodny z regułą o około 0.5D, a niedoszacowujemy astygmatyzmu przeciwnego regule, co w pierwszym przypadku skutkuje nadkorekcją, a w drugim- niedokorygowaniem (59). Jeśli pominiemy wpływ astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki niedokorygowany zostaje również astygmatyzm skośny (60).

Przez lata szukano przyczyny nieidealnych wyników refrakcji po wszczepieniu soczewek torycznych. Koch, po przeanalizowaniu 715 rogówek u 435 pacjentów, odkrył, że stromy południk położony jest pionowo (między 60 a 120 stopniem) u 51,9% oczu na przedniej powierzchni rogówki, natomiast na tylnej powierzchni- u 86.6% (57). Jako, że tylna powierzchnia rogówki jest soczewką wklęsłą- powoduje to wzrost mocy dodatniej w poziomym południku, czyli skutkuje astygmatyzmem przeciwnym regule. Koch odkrył również, że wraz ze wzrostem astygmatyzmu zgodnego z regułą na przedniej powierzchni rogówki, astygmatyzm tylnej powierzchni rośnie nawet do wartości 1 dioptrii. W przypadku astygmatyzmu przeciwnego regule, astygmatyzm tylnej powierzchni pozostaje bez zmian. Dodatkowo wiadomo, że astygmatyzm przedniej powierzchni rogówki zgodny z regułą, wraz z wiekiem, przesuwa się w stronę astygmatyzmu przeciwnego regule (61). Nie dotyczy to jednak astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.

Zatem planując zabieg należy brać pod uwagę również astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki. W przypadku, gdy mamy do czynienia z astygmatyzmem zgodnym z regułą

astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki zmniejsza astygmatyzm całkowity o około 1/4 jego wartości. Natomiast w przypadku astygmatyzmu przeciwnego regule astygmatyzm tylnej powierzchni powoduje zwiększenie astygmatyzmu całkowitego o około 1/3 jego wartości (62).

Jedynie u 10% astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki wynosi  $>0,5D$  (63).

Badanie przeprowadzone przed Ueno i in. za pomocą swept-source OCT wykazało, że rogówka jest grubsza wzdłuż południka pionowego, co może mieć wpływ na astygmatyzm przeciwny regule z powodu bardziej stromego południka pionowego na tylnej powierzchni rogówki. Różnica w grubości rogówki pomiędzy południkiem pionowym a poziomym rośnie z wiekiem, co również może przyczyniać się do zmiany astygmatyzmu w kierunku przeciwnego regule w starszym wieku (64).

W badaniu Klijn et al. na 77 pacjentach dowiedziono, że cięcia rogówkowe (zarówno 2 jak i 3) wykonywane w trakcie zabiegu usunięcia zaćmy powodowały pooperacyjne spłaszczenie rogówki o  $0.37D$  (2 cięcia) oraz  $0.27D$  (3 cięcia). W przypadku astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki pooperacyjna zmiana była statystycznie nieistotna i mieszcząca się w zakresie błędu pomiaru aparatu (65). Natomiast w badaniu z 2014 roku na 88 pacjentach wykazano istotną statystycznie różnicę pomiędzy astygmatyzmem tylnej powierzchni rogówki przed operacją i po niej; pomiary dokonywane były obrotową kamerą Scheimpfluga (63).

### 1.2.3b Astygmatyzm soczewkowy

W soczewce południk poziomy jest bardziej stromy od pionowego. Dodatkowo, współczynnik refrakcji różni się w zależności od południka (66). Usuwając soczewkę własną w czasie fakoemulsyfikacji pozbywamy się wpływu powyższych na astygmatyzm całkowity. Natomiast pozostaje jeszcze kwestia wpływu pochyleń soczewki.

W konsekwencji delikatnej rotacji oczu ku skroni nosowa część soczewki zlokalizowana jest nieco bardziej z przodu niż jej część skroniowa. Badania wykonane za pomocą biometru optycznego IOLMaster 700 wykazały występowanie pochyleń soczewki własnej o wartości  $0.4$  do  $6.9^\circ$  oraz wszczepionej do torby soczewki sztucznej o  $1.6$  do  $10.7^\circ$  (rotacja wzdłuż południka pionowego). W prawych i lewych oczach występuje symetria lustrzana (67). Pochylenie soczewki sztucznej negatywnie koreluje z długością

gałki ocznej. Wielkość i kierunek odchylenia sztucznej soczewki koreluje z przedoperacyjnym pochyleniem soczewki własnej (68).

Pochylenie IOL powoduje astygmatyzm; naturalne pochylenie z rotacją wzdłuż południka pionowego indukuje astygmatyzm przeciwny regule. Pochylenie torycznej IOL ustawionej w osi  $90^\circ$  zwiększa astygmatyzm przeciwny regule skutkując nadkorekcją. Pochylenie torycznej IOL ustawionej w osi  $180^\circ$  zmniejsza astygmatyzm zgodny z regułą skutkując niedokorekcją. Efekt ten, z powodu silniejszego odchylenia oraz wyższych mocy IOL, jest większy w krótkich oczach oraz w oczach w większym kącie kappa (69). Udowodniono, że na pogorszenie ostrości wzroku mocniej wpływa decentracja IOL niż jej pochylenie. Decentracja wielkości 0.2-0.3mm występuje powszechnie i nie ma wpływu na ostrość widzenia (70).

Wykazano, że bardziej adekwatne wyniki daje przewidywanie wpływu astygmatyzmu tylnej powierzchni niż jego faktyczne zmierzenie (zmierzony astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki ma mniejsze wartości niż wyniki obliczeń), prawdopodobnie właśnie z powodu „pozostawionego” astygmatyzmu wynikającego z pochylenia soczewki (71). Temat ten wymaga jeszcze dalszych badań.

### 1.2.3c Astygmatyzm indukowany chirurgicznie

Cięcie w rogówce powoduje wypłaszczenie się jej w południku, w którym wykonano cięcie i wystromienie w południku oddalonym o  $90^\circ$ . Efekt ten nazwano astygmatyzmem indukowanym chirurgicznie (SIA).

Na zmiany w krzywiznie rogówki wpływ mają lokalizacja cięcia, jego rozmiar (72) i architektura jak również czas trwania zabiegu. Im większe cięcie i im bliżej osi widzenia tym wartość SIA będzie wyższa (73–75). Szersze cięcie w twardówce powoduje astygmatyzm taki, jak węższe cięcie w rogówce. Cięcie od góry powoduje nieco większy astygmatyzm niż cięcie od skroni. Cięcia poniżej 2mm nie indukują astygmatyzmu, a raczej w tak nieznaczny sposób zmieniają krzywiznę rogówki, że nie jesteśmy w stanie tego zmierzyć (43). Cięcie o szerokości powyżej 2mm w osi stromej zmniejsza astygmatyzm całkowity o około 0,25D (76).

Należy rozróżnić niezborność pooperacyjną od indukowanej chirurgicznie. Niezborność pooperacyjna to niezborność zmierzona po operacji. Niezborność indukowana



chirurgicznie to różnica między niezbornością pooperacyjną a przedoperacyjną. Do jej obliczania stosuje się różne metody matematyczne (proste odejmowanie daje wiarygodny wynik jedynie, jeśli oś astygmatyzmu przed i po zabiegu są takie same) (77).

Przed zabiegiem powinno się przeanalizować wykonaną keratometrię i tak zaplanować zabieg, aby, gdzie to możliwe, skorygować istniejący już astygmatyzm. I tak, jeśli u pacjenta występuje astygmatyzm zgodny z regułą wykonanie cięcia głównego od góry pozwoli go zmniejszyć lub zniwelować; natomiast jeśli w takim przypadku wykonamy ciecie od skroni- astygmatyzm ulegnie powiększeniu.

#### 1.2.4. Objawy kliniczne

Astygmatyzm powoduje zamazane widzenie, problemy z akomodacją, może prowadzić do niedowidzenia. Osoba z astygmatyzmem mruży oczy, może doświadczać częstych bólów głowy, przechylać wyrównawczo głowę.

Astygmatyzm pooperacyjny powoduje gorszą nieskorygowaną ostrość wzroku po zabiegu usunięcia zaćmy oraz konieczność używania okularów.

#### 1.2.5. Zależność astygmatyzmu od wieku

Wraz z wiekiem zmienia się oś oraz moc astygmatyzmu. 30-50% noworodków ma astygmatyzm powyżej 1D; najczęściej jest to astygmatyzm przeciwny regule. W wieku szkolnym moc astygmatyzmu maleje, a oś zmienia się w kierunku astygmatyzmu zgodnego z regułą. W wieku dorosłym południk pionowy pozostaje bardziej stromy. Powyżej 40 roku życia, kiedy powieka górna staje się bardziej wiotka i wywiera słabszy nacisk na gałkę oczną, astygmatyzm zmienia się stopniowo na przeciwny regule (78).

Badanie Hayashi wykazało, że w ciągu 10 lat po zabiegu usunięcia zaćmy wystąpiło przesunięcie astygmatyzmu w kierunku astygmatyzmu przeciwnego regule o 0.33D u pacjentów, którzy na początku badania byli w wieku  $61.8 \pm 6.0$  (79). Przesunięcie astygmatyzmu w tym samym kierunku wystąpiło również w ciągu 10 lat u pacjentów w wieku  $59.9 \pm 5.8$ , którzy nie przeszli żadnej operacji okulistycznej. Gudmundsdottir raportował średnią zmianę o 0.13 D w ciągu 5 lat w kierunku astygmatyzmu przeciwnego regule w populacji pacjentów, którzy na początku badania mieli 50 lat lub więcej (80).

### 1.2.6. Diagnostyka astygmatyzmu

Do pomiaru astygmatyzmu używa się keratometrii ręcznej, keratometrii automatycznej, topografii lub OCT. Pomiar astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki wykonuje się za pomocą obrazów Scheimpfluga lub OCT. Często przedoperacyjnie korzysta się z uwzględniających astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki wzorów regresji (np. kalkulator Barretta).

Podczas obliczeń mocy IOL 1.0D błędu w obliczeniach keratometrii skutkuje 1.0D błędem refrakcji pooperacyjnej (20).

Badanie Karunaratne na 45 pacjentach wykazało, że wyniki pomiarów keratometrii wykonanej na aparatach IOLMaster500 oraz Pentacam nie są równoważne i różnica jest istotna statystycznie, jednakże nie ma to wpływu na obliczenia mocy soczewki wewnątrzgałkowej (81)

### 1.2.7. Metody leczenia astygmatyzmu

Astygmatyzm może być korygowany za pomocą soczewek torycznych, zmianę krzywizny rogówki przez LASIK lub inne metody chirurgii refrakcyjnej, lub przez nacięcia relaksacyjne w stromym południku w celu spłaszczenia krzywizny rogówki (82). Nacięcia relaksacyjne są w stanie zniwelować astygmatyzm do maksymalnie 3 dioptrii, soczewki toryczne do 8 dioptrii (83,84).

Udowodnione zostało, że soczewki toryczne są skuteczniejsze w korygowaniu astygmatyzmu niż cięcia relaksacyjne (85). Soczewki toryczne częściej dają pooperacyjny astygmatyzm resztkowy poniżej 0.5D w porównaniu do cięć relaksacyjnych (86).

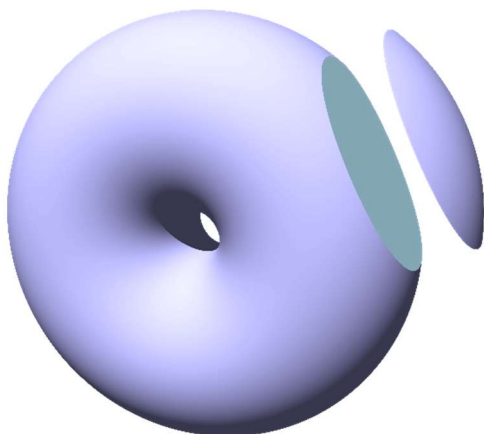
Amesbury sugeruje następujące podejście do astygmatyzmu w czasie zabiegu usuwania zaćmy:

1. astygmatyzm poniżej 1.0D- wykonuje się port główny w osi południka stromego;
2. astygmatyzm w zakresie 1-1.5D- należy rozważyć wykonanie cięć relaksacyjnych;
3. astygmatyzm powyżej 1.5D zaleca się wszczępienie soczewki torycznej, a następnie, jeśli istnieje potrzeba dokorygowania- cięcia relaksacyjne lub chirurgia laserowa (87,88).

### 1.2.8. Soczewki toryczne

Pierwsza soczewka toryczna została wprowadzona przez Shimzu w 1992 roku. Była to soczewka niezwijalna, trzyczęściowa z PMMA, wymagająca szerokiego cięcia rogówkowego (5.7mm) (89). Pierwsza jednoczęściowa soczewka zwijalna pojawiła się na rynku w 1994 roku. Mogła być implantowana przez cięcie 3.2mm (90).

Soczewka toryczna posiada dwie prostopadłe do siebie moce refrakcyjne czyli tworzy dwa obrazy jednego punktu. W położeniach pośrednich moc refrakcyjna zmienia się stopniowo od największej do najmniejszej mocy lub na odwrót. Kompensuje to wadę cylindryczną oka.



*Ryc.3. Soczewka toryczna jako wycinek zewnętrznej krawędzi torusa. Soczewka taka zachowuje się jak soczewka sferyczna i cylindryczna jednocześnie (By HHahn - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15805563>)*

Wewnątrzgałkowe soczewki toryczne zostały wprowadzone na rynek w latach 90 i od tego czasu są najczęściej wybieraną metodą korekcji astygmatyzmu rogówkowego podczas operacji zaćmy. Soczewki te umożliwiają pacjentowi uwolnienie się od korekcji okularowej podczas patrzenia w dal. Dostępne są również toryczne soczewki wieloogniskowe oraz o wydłużonej ogniskowej.

Soczewki toryczne dostępne są począwszy od mocy 1D, która to koryguje około 0.5D astygmatyzmu. Moc toryczna soczewek zwiększa się skokowo o 0.5-0.75D, aż do zakresu 6-9D w zależności od producenta. Moce te zapewniają możliwość skorygowania

większości fizjologicznie występującego astygmatyzmu. Z uwagi na to, że moc soczewek zarówno w sferze jak i w cylindrze rośnie skokowo, oczywiste jest, że docelowa refrakcja najczęściej jest bliska zeru, ale jednak od niego różna.

Z soczewkami torycznymi wiążą się dodatkowe wyzwania dla lekarza kwalifikującego oraz chirurga: niepoprawnie zmierzona keratometria, niewzięcie pod uwagę astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki, umieszczenie soczewki w niewłaściwej osi lub jej pooperacyjna rotacja, decentracja po YAG kapsulotomii tylnej. Wszystko to może skutkować tym, że po zabiegu usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej pacjent wciąż będzie miał znaczny astygmatyzm, a tym samym niesatysfakcjonującą nieskorygowaną ostrość wzroku do dali. A zatem już w czasie kwalifikacji pacjenta do wszczepu soczewki torycznej należy mieć na uwadze właściwy wybór pacjenta, konieczność dokładnego wykonania biometrii, właściwą technikę operacyjną oraz umiejętność poradzenia sobie z potencjalnymi powikłaniami pooperacyjnymi (40).

System śródoperacyjnego centrowania wykorzystuje przedoperacyjne obrazy referencyjne, które pomagają w śródoperacyjnym ustawieniu soczewki torycznej we właściwej osi. Na soczewce torycznej znajdują się oznaczenia osi. Soczewka jest wprowadzana do torebki soczewki i następnie rotowana tak, aby oś jej ustawienia pokrywała się z obliczoną wcześniej osią wskazywaną przez system śródoperacyjnego centrowania.

Soczewki toryczne mogą ulec pooperacyjnej rotacji. 30 stopni rotacji niweluje moc soczewki torycznej. Zwykle rotację o więcej niż 10 stopni uznaje się za nieakceptowalną i wymagającą interwencji chirurgicznej w celu repozycji soczewki (91). Soczewki toryczne charakteryzują się największym stopniem rotacji we wczesnym okresie pooperacyjnym, powyżej tygodnia rotacja jest już niewielka (92). Reoperacja celem ponownego ułożenia soczewki w zamierzonej osi jest konieczna w 0,65-3,3% przypadków, w których doszło do rotacji powyżej 10 stopni (93).

W przypadku astygmatyzmu zgodnego z regułą (WTR) południk stromy znajduje się w okolicy 90°. Przy obliczaniu soczewki, z powodu astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki, należy od astygmatyzmu całkowitego odjąć 25% jego wartości oraz wartość astygmatyzmu indukowanego chirurgicznie (SIA). Gdy mamy do czynienia z

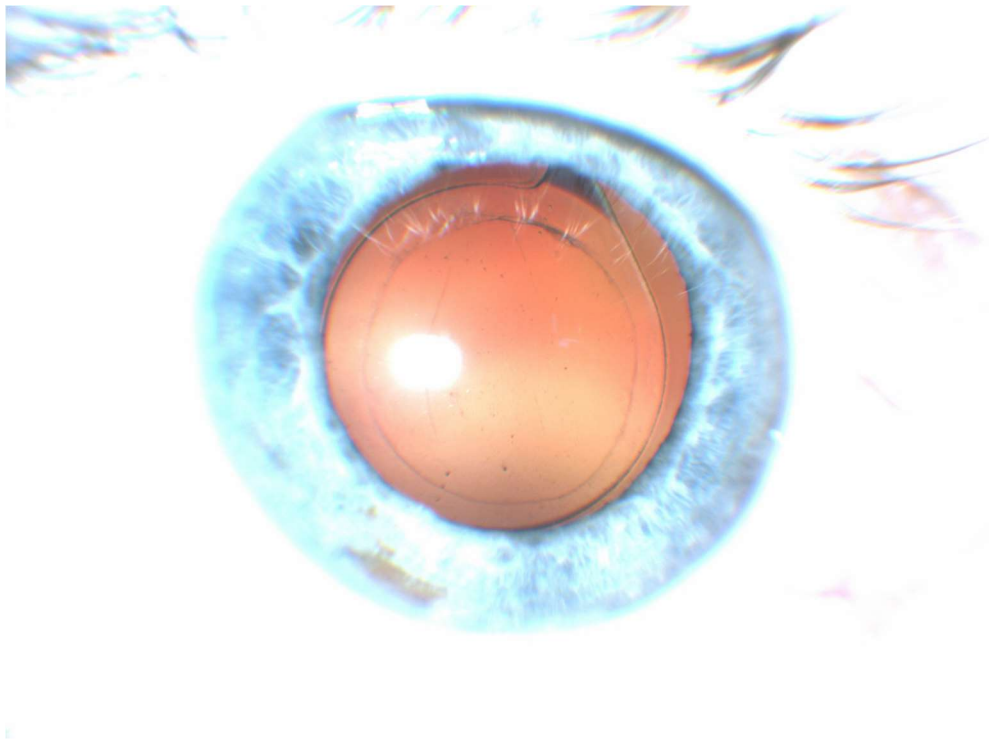
astygmatyzmem odwrotnym czyli niezgodnym z regułą południk stromy znajduje się w osi 180°- w tym przypadku do wartości astygmatyzmu całkowitego należy dodać 1/3 jego wartości oraz SIA (62).

Wśród chirurgów panuje pogląd, mający swoje źródło w praktyce optometrycznej, iż wybierając soczewkę toryczną nie powinno się zakładać nadkorekcji astygmatyzmu ani zmieniać osi cylindra, tak, że oś astygmatyzmu resztkowego będzie w odległości 90° od osi astygmatyzmu rogówkowego. Natomiast, o ile w przypadku korekcji okularowej może to powodować dyskomfort wzrokowy pacjenta, nie ma takiego wpływu, gdy chodzi o soczewki wewnątrzgałkowe. A zatem zalecane jest wybranie niewielkiej nadkorekcji, jeśli w efekcie astygmatyzm resztkowy będzie mniejszy, niż w przypadku niedokorekcji (43,94).

Metaanaliza 13 randomizowanych kontrolowanych badań klinicznych wykazała, że toryczne soczewki wewnątrzgałkowe zapewniają lepszą pooperacyjną nieskorygowaną ostrość wzroku, lepszą niezależność od okularów oraz mniejszy astygmatyzm pooperacyjny niż nietoryczne soczewki wewnątrzgałkowe nie zwiększając ilości powikłań okołoperacyjnych (82).

#### 1.2.9. Wskazania do wszczęcia soczewki torycznej

Soczewka toryczna ma na celu zniwelowanie astygmatyzmu rogówkowego. Głównym celem wszczęcia soczewek torycznych jest uzyskanie przez pacjentów korzyści w postaci lepszej nieskorygowanej ostrości wzroku. Astygmatyzm rogówkowy o mocy powyżej 1.5D zdecydowanie jest wskazaniem do wszczęcia soczewki torycznej (77). Niektórzy chirurdzy decydują się na zastosowanie tego rozwiązania również przy mniejszych mocach niezborności, jednakże biorąc pod uwagę potencjalne błędy (pomiar mocy soczewki, keratometria, właściwe śródoperacyjne ustawienie soczewki, jej rotacja pooperacyjna) lepszym rozwiązaniem może w tych przypadkach okazać się wykorzystanie technik operacyjnych na poziomie rogówki jak rąbkowe cięcia relaksacyjne lub cięcie główne w osi. Nie bez znaczenia jest również aspekt ekonomiczny; soczewki toryczne są droższe od sferycznych.



*Ryc.4. Soczewka toryczna 3 miesiące po zabiegu*

#### 1.2.10. Przeciwwskazania do wszczepienia soczewki torycznej

Przeciwwskazaniami do wszczepienia soczewki torycznej są istotny astygmatyzm nieregularny, postępująca ektazja rogówki oraz dystrofie rogówki, które w przyszłości mogą wymagać zabiegu keratoplastyki. Względny przeciwwskazaniem jest niestabilność torebki soczewki, jako że wątpliwe jest, aby mogła ona zapewnić stabilność rotacyjną (do pewnego stopnia pomocne może tu być wszczepienie pierścienia napinającego torebkę soczewki) (77).

Do niedawna nieregularny astygmatyzm był bezwzględnym przeciwwskazaniem do wszczepienia soczewki torycznej; aktualnie przyjmuje się, że, po rozmowie z pacjentem, można rozważyć wszczepienie soczewki torycznej; efekty są mniej przewidywalne, niż w przypadku astygmatyzmu regularnego, jednakże zwykle satysfakcjonujące (95,96). Istotne jest, aby centralne 4mm rogówki miały symetryczną moc.

#### 1.2.11. Zabieg wszczepienia soczewki torycznej

Zabieg usunięcia zaćmy z implantacją soczewki torycznej różni się od standardowego zabiegu usunięcia zaćmy z wszczepieniem sztucznej soczewki kilkoma elementami:

1. Należy dokonać obliczeń soczewki wewnątrzgałkowej oraz zamówić ją dla konkretnego pacjenta.
2. Konieczne jest wyznaczenie osi, w której ma być umieszczona soczewka toryczna. Jeśli oś zaznaczana jest ręcznie należy to zrobić przed zabiegiem. Pacjent powinien się znajdować w pozycji siedzącej z uwagi na cyklorotację. W przypadku korzystania z techniki śledzenia cyfrowego [Alcon Inc. (Geneva, Switzerland) Verion™ oraz Carl Zeiss Meditec Gmb (Oberkochen, Germany) Callisto eye™] system wyznacza prawidłową oś w odniesieniu do naczyń spojówki. Ten drugi sposób pozwala umieszczenie soczewki torycznej w założonej osi z większą dokładnością (97).
3. Cięcia rogówkowe powinny być wykonane w zaplanowanej przed zabiegiem osi.
4. Należy usunąć cały OVD zza soczewki, w celu zapobieżenia jej rotacji.
5. Trzeba ustawić soczewkę toryczną w założonej osi do końca zabiegu monitorując, czy nie doszło do jej rotacji podczas końcowych manewrów.

#### 1.2.12. Przyczyny nieosiągnięcia zamierzonego efektu refrakcyjnego

Osiągnięcie zamierzonego efektu refrakcyjnego jest równoznaczne z uzyskaniem jak najmniejszych wartości astygmatyzmu resztkowego po zabiegu. Oznacza to konieczność obliczenia prawidłowej mocy soczewki oraz ustawienia jej w zamierzonej osi. Przyjmuje się, że dobrym wynikiem jest soczewka ustawiona w odległości równej lub mniejszej  $5^\circ$  od zamierzonej osi (98). Do nieprawidłowego umiejscowienia IOL może dojść w wyniku mylnego obliczenia osi, złej techniki chirurgicznej oraz pooperacyjnej rotacji. 1 stopień odchylenia wszczepionej soczewki torycznej od zamierzonej osi skutkuje utratą 3.3% korekcji astygmatyzmu (82). A zatem jeśli pomyłka wyniosłaby 90 stopni, astygmatyzm wzrósłby dwukrotnie.

W badaniu na 4949 oczach oceniono czynniki wpływające na astygmatyzm resztkowy operacji usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej: błąd w pomiarach keratometrii (27%), nieprawidłowa pozycja soczewki (14,4%), pochylenie IOL (11,3%) oraz kąt kappa (10,9), SIA (7,8%), ACD (7,5%), AL (7,5%), decentracja IOL (5,6%) (99).

Czynniki ryzyka pooperacyjnej rotacji soczewki dzielą się na:

- anatomiczne- niestandardowa długość gałki ocznej, duża torebka soczewki, niestabilność więzadełek;
- śródoperacyjne- pozostawienie OVD za soczewką, nieprawidłowe dopasowanie przedniego brzegu torebki i części optycznej soczewki torycznej, nieprawidłowy rozmiar lub zła centracja kapsuloreksy, niska moc sferyczna soczewki (cienka soczewka), nieprawidłowe rozwinięcie się haptok w torbie;
- pooperacyjne- nieszczelność rany, uraz oka, intensywna aktywność fizyczna (92).

Wykazano również wpływ zmętnienia przedniej torby na stabilność rotacyjną. Im większe było zmętnienie tym mniejsza rotacja pooperacyjna soczewki, co sugeruje rozważenie odejścia od polerowania torebki przedniej podczas zabiegu usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej (100). Znaczenie ma również materiał, z którego wykonano soczewkę, jako że soczewka ma się „skleić” z torbą, co zapobiega rotacji (101).

Pooperacyjne błędy refrakcji można podzielić na takie, w których:

1. SE znajduje się w pobliżu zera;
2. występuje komponenta błędu sferycznego.

W pierwszym przypadku zaleca się rotację soczewki, cięcia relaksacyjne lub laserową korekcję wzroku (ze wskazaniem na cięcia relaksacyjne, gdy wada jest  $<1.25D$  i rotację soczewki  $>1.25D$ .) W drugim – korekcję laserową bądź wymianę soczewki (77).

Do korygowania astygmatyzmu pooperacyjnego można używać metod PRK i LASIK.

W badaniu na 57 oczach leczonych z powodu astygmatyzmu pooperacyjnego za pomocą LASIK, wymiany IOL lub implantacji soczewki *piggyback* uzyskano porównywalne wyniki co do najlepszej nieskorygowanej ostrości wzroku (102).

Pamiętać należy, że pacjenci zwykle dobrze tolerują astygmatyzm resztkowy zgodny z regułą, wynoszący nawet 1D (77).

W przypadku nieakceptowalnego astygmatyzmu resztkowego należy rozważyć interwencję chirurgiczną. Rotację soczewki torycznej najlepiej wykonać około 1-2 tygodnie po zabiegu, zanim jeszcze torebka soczewki zacznie włóknieć. Biorąc pod uwagę ryzyko uszkodzenia więzadełek, wystąpienia obrzęku plamki, zakażenia i innych



powikłań związanych z operacją wewnątrzgałkową, wymianę soczewki stosuje się tylko u pacjentów z dużym pooperacyjnym błędem refrakcji. W decyzji odnośnie najlepszej metody może pomóc zastosowanie kalkulatora on-line [www.astigmatismfix.com](http://www.astigmatismfix.com). Jest to istotne z uwagi na fakt, że po zabiegu parametry oka uległy zmianie i przesunięcie soczewki do pierwotnie zakładanej osi może już nie być właściwym manewrem.

### **1.3. Wpływ długości gałki ocznej na zabieg usunięcia zaćmy**

#### **1.3.1. Oczy o dużej długości gałki ocznej**

Według literatury średnia długość gałki ocznej to około 23.46 mm +/- 1.03 (SD) (103), 23.13 +/- 1.15 mm (104), 23.38 mm (105). Długość gałki ocznej jest uznawana za najistotniejszą determinantę krótkowzroczności (106), jak i nadwzroczności (107). Im dłuższa gałka oczna tym wyższa krótkowzroczność (108).

W oczach krótkowzrocznych zaćma występuje częściej i postępuje szybciej (109).

Operacja usunięcia zaćmy u pacjentów z wysoką krótkowzrocznością często bywa trudniejsza niż w oku normowzrocznym. Po pierwsze na początku zabiegu może dojść do pogłębienia komory przedniej, co skutkuje trudnościami z przeprowadzeniem dalszej części zabiegu. Po drugie zwiększone jest ryzyko odwarstwienia siatkówki po zabiegu (110).

Kolejnym problemem jest częste powstawanie pooperacyjnych błędów refrakcji, szczególnie ciążących w stronę nadwzroczności, mimo używania biometru optycznego i niezależnie od zastosowanej formuły (111).

W badaniu na 137 krótkowzrocznych oczach wykazano, iż głównym czynnikiem wpływającym na powstanie błędu refrakcyjnego po zabiegu usunięcia zaćmy jest długość gałki ocznej (112).

#### **1.3.2. Oczy o małej długości gałki ocznej**

W krótkim oku normalnej wielkości soczewka zajmuje więcej miejsca. W przypadku oczu o małej długości gałki ocznej podczas zabiegu usunięcia zaćmy często występuje problem z wyjściowo płytką komorą przednią, która dodatkowo często ulega spłyceniu w trakcie zabiegu. Powoduje to przesunięcie soczewki ku przodowi oraz wzrost ryzyka

wypadania tęczówki przez rany, krwotoku wypierającego oraz wystąpienia przepływu wstecznego. Większe jest również ryzyko przerwania tylnej torby, obrzęku rogówki, podniesionego ciśnienia wewnątrzgałkowego. Wyniki pooperacyjnej ostrości wzroku są również gorsze (113).

W „krótkich” oczach częściej występują „niespodzianki refrakcyjne”. Refrakcja pooperacyjna pacjentów często ciąży ku nadwzroczności (114).

Główną przyczyną błędów refrakcji pooperacyjnej są trudności z przewidywaniem ELP w krótkich oczach. Błąd w przewidywaniu ELP w „krótkim” oku ma większy wpływ na refrakcję pooperacyjną (1 mm błędu skutkuje 4-6D błędu refrakcji) niż w oku normalnej wielkości (1 mm błędu skutkuje 2.5D błędu refrakcji) (39). Przewidywanie ELP jest bardziej istotne w oczach o małej długości gałki ocznej z powodu wysokich mocy soczewek oraz mniejszej odległości soczewka a siatkówką (115).

## 2. CEL I ZAŁOŻENIA PRACY

Astygmatyzm powyżej 1.5 dioptrii dotyczy około 20% społeczeństwa i jest przyczyną nieostrego widzenia zarówno na odległość, jak i do bliży. Wszczepienie soczewek torycznych podczas zabiegu usunięcia zaćmy jest skuteczną metodą leczenia astygmatyzmu, w szczególności o wartościach wyższych niż 1.5 dioptrii. Dodatkowe wyzwania wiążą się z wykonaniem precyzyjnych pomiarów biometrycznych, obliczeń mocy sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej oraz przeprowadzeniem samego zabiegu usunięcia zaćmy, kiedy pacjent jest osobą o skrajnej długości gałek ocznych. Dlatego uzasadnione są badania, które mogłyby przyczynić się do poszerzenia wiedzy na temat wpływu wybranych czynników na osiągnięcie założonego celu refrakcyjnego, a tym samym na uzyskanie przez pacjenta optymalnej ostrości wzroku.

Istotne jest pytanie, czy wszczepienie soczewki torycznej w przypadku skrajnych wartości długości gałki ocznej przynosi spodziewane korzyści (zmniejszenie astygmatyzmu, obiektywna i subiektywna poprawa ostrości wzroku, uwolnienie od korekcji okularowej) oraz czy owe korzyści są porównywalne z osiąganymi w oczach normowzrocznych.

Celem projektu jest optymalizacja postępowania u pacjentów z niestandardową długością gałki ocznej, w tym:

1. Określenie wpływu skrajnych długości gałki ocznej na uzyskanie zamierzonego efektu refrakcyjnego podczas wszczepiania soczewek torycznych.
2. Analiza wpływu rodzaju astygmatyzmu na wielkość oraz kierunek pooperacyjnej rotacji soczewki torycznej.
3. Określenie wpływu zabiegu usunięcia zaćmy na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki oraz oddziaływania rodzaju astygmatyzmu na zaistniałą zmianę.
4. Ocena zgodności wyników keratometrii uzyskanych za pomocą dwóch aparatów: IOLMaster700 oraz Pentacam.

### 3. PACJENCI I METODY

#### 3.1. Pacjenci

Badanie objęło 104 oczy 75 pacjentów poddanych zabiegowi usunięcia zaćmy z jednoczasowym wszczepieniem soczewki torycznej w Klinice Okulistyki 4 Wojskowego Szpitala Klinicznego we Wrocławiu w latach 2020-2023. Pacjenci podzieleni zostali na 3 grupy: 1. AL (długość osiowa gałki ocznej)- <22mm- oczy nadwzroczne, 29 oczu 21 osób, 2.AL- 22-24.5mm- oczy normowzroczne, 37 oczu 28 osób, 3.AL- >24.5mm- oczy krótkowzroczne, 38 oczu 26 osób.

Poddano analizie badania kontrolne przeprowadzone przez jednego badacza:

a.1 dzień po zabiegu usunięcia zaćmy:

- refrakcję za pomocą autorefraktometru Topcon KR800;
- najlepszą nieskorygowaną ostrość wzroku na tablicach Snellena.

b.14-21 dni po zabiegu usunięcia zaćmy:

- refrakcję za pomocą autorefraktometru Topcon KR800;
- najlepszą nieskorygowaną ostrość wzroku na tablicach Snellena.

c.3 miesiące od zabieg, czyli po ustabilizowaniu się refrakcji pooperacyjnej:

- refrakcję za pomocą autorefraktometru Topcon KR800;
- najlepszą nieskorygowaną ostrość wzroku na tablicach Snellena;
- najlepszą skorygowaną ostrości wzroku na tablicach Snellena;
- biometrię za pomocą biometru optycznego Master 700 (Carl Zeiss Meditec GmbH) w opcji „pseudofakia”;
- mapę topograficzną rogówki za pomocą aparatu Pentacam (Oculus Optikgeräte, Wetzlar, Niemcy);
- zdjęcie przedniego odcinka oka w mydriazie za pomocą fundus kamery (ZeissFC450plusIR);

- pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego oraz ocenę przedniego i tylnego odcinka oka w mydriazie w lampie szczelinowej celem wykluczenia innych schorzeń narządu wzroku.
- pacjent był proszony o wypełnienie kwestionariusza, w którym oceniano niezależność od okularów do dali, a także poziom satysfakcji pacjenta z osiągniętej po zabiegu ostrości wzroku oraz poprawy jakości życia.

W analizie odniesiono otrzymane parametry do wyników przedzabiegowego badania kwalifikacyjnego, które obejmowało:

- refrakcję za pomocą autorefraktometru Tomey RC500;
- najlepszą nieskorygowaną ostrość wzroku na tablicach Snellena;
- najlepszą skorygowaną ostrość wzroku na tablicach Snellena;
- biometrię za pomocą biometru optycznego Master 700;
- mapę topograficzną rogówki za pomocą aparatu Pentacam;
- pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego oraz ocenę przedniego i tylnego odcinka oka w lampie szczelinowej.

### **3.2. Kryteria włączenia i wyłączenia z badania**

Kryteria włączenia:

- obecność regularnego astygmatyzmu rogówkowego o wartości 1.5 dioptrii lub więcej;
- przebycie niepowikłanego zabiegu usunięcia zaćmy metodą fakoemulsyfikacji;
- refrakcja docelowa ustawiona na emetrię;

Kryteria wyłączenia:

- obecność astygmatyzmu nieregularnego, ektazji rogówki, skrzydlika, dystrofii rogówki;
- nieprawidłowości powierzchni oka;
- podwichnięcie soczewki własnej;
- obecność innych chorób wpływających na refrakcję oraz ostrość wzroku;

- przebyty, inny niż zaćma, okulistyczny zabieg wewnątrzgałkowy;
- przebyty zabieg chirurgii refrakcyjnej;
- zaawansowana zaćma uniemożliwiająca pomiar biometrem optycznym;
- wystąpienie powikłań śród- lub pooperacyjnych;
- brak współpracy z pacjentem.

Z obliczeń dotyczących najlepszej skorygowanej i nieskorygowanej ostrości wzroku wykluczono pacjentów z niedowidzeniem, wzięto ich jednak pod uwagę przy badaniach dotyczących refrakcji, głębokości komory przedniej oraz rotacji soczewki.

Wszyscy biorący udział w badaniu mieli ukończony 18 rok życia i byli przedstawicielami rasy kaukaskiej.

### **3.3. Metody badania**

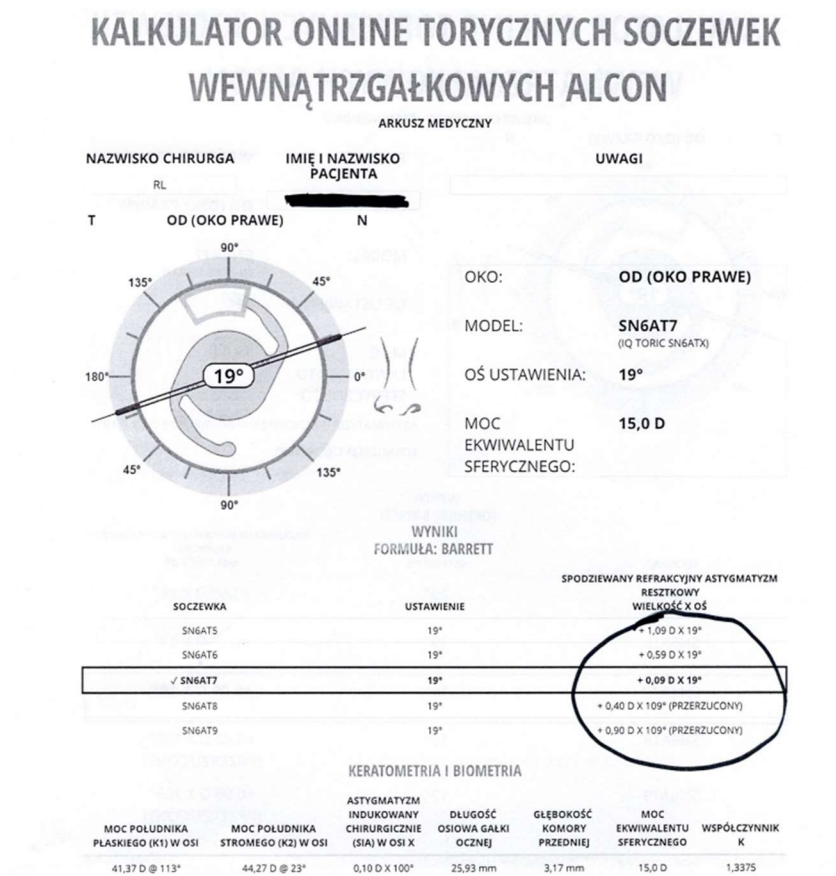
Do wszczęcia soczewki torycznej wszyscy pacjenci byli kwalifikowani przez jednego lekarza (autora). Od każdego pacjenta biorącego udział w badaniu został zebrany wywiad okulistyczny oraz ogólny. Została rozmowa wyjaśniająca zalety i potencjalne ryzyko związane z wszczęciem soczewki torycznej.

Pacjenci podpisali świadomą zgodę na zabieg.

U wszystkich została zebrana ostrość wzroku nieskorygowana oraz w najlepszej możliwej korekcji. Do badania ostrości wzroku użyto tablic Snellena. Przed przeprowadzeniem badań obrazowych pacjent był poddany badaniu w lampie szczelinowej. U wszystkich pacjentów wykonano badanie obrotową kamerą Scheimpfluga oraz biometrem optycznym IOLMaster 700 w trakcie jednej sesji przez tę samą osobę. Wyniki badań biometrem optycznym oraz aparatem Penatacam były porównywane pod kątem ich zgodności. W przypadku niesatysfakcjonującej zgodności obu badań zalecano pacjentowi stosowanie sztucznych łez bez konserwantów 4 razy dziennie przez 2 tygodnie i ponowne badanie po tym czasie (77). Jeśli nadal występowała niezgodność między pomiarami, wykonywano badanie na trzecim aparacie- HS Lenstar. Pacjent był dyskwalifikowany, jeśli nie udało się uzyskać zgodnych wyników badań z co najmniej dwóch aparatów.

Używane w badaniu biometrii optyczne posługiwały się zoptymalizowanymi stałymi na podstawie danych z ULIB (User group for Laser Interference Biometry) (116).

Na podstawie długości gałki ocznej każdej z grup przypisano formułę, za pomocą której dokonywane były obliczenia ekwiwalentu sferycznego soczewki wewnątrzgałkowej: Holladay2 dla grupy badanej oraz krótkowzrocznej do długości gałki ocznej 26mm, SRK/T dla oczu o długości  $\geq 26,0\text{mm}$ , HofferQ dla oczu  $<22,0\text{mm}$ . W przypadku wątpliwości wyniki weryfikowano za pomocą kalkulatora internetowego European Society of Cataract and Refractive Surgeons (<https://iolcalculator.esrcs.org>) posiadającym dostęp do formuł najnowszych generacji. Po przeanalizowaniu zgodności wykonanych badań dokonywano obliczeń soczewki torycznej za pomocą internetowego kalkulatora torycznego firmy Alcon bazującego na formule Barretta ([www.myalcon-toriccalc.com](http://www.myalcon-toriccalc.com)). Używany kalkulator brał pod uwagę zarówno ELP jak i astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki (oba te parametry są w nim przewidziane, nie mierzone.)



Ryc.5. Wydruk obliczenia mocy torycznej soczewki wewnątrzgałkowej ze strony Alcon Toric Calculator

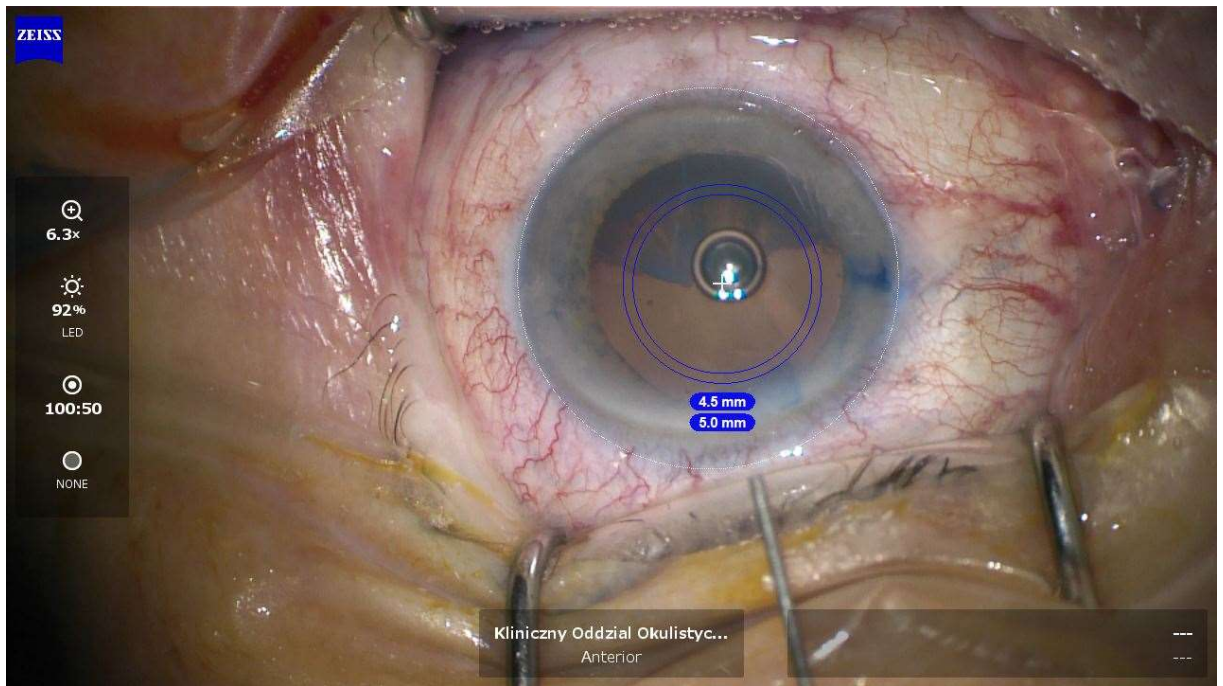
Przed- i pooperacyjne pomiary refrakcji wykonywane były autokeratometrem. Aurokeratometr mierzy centralne 2.8-3.2mm rogówki. Nie jest to jednak badanie wystarczające, ponieważ aparat mierzy jedynie 4 punkty i nie jest w stanie wykryć asymetrii, nieregularności, nie bierze też pod uwagę astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki. Przed- i pooperacyjne pomiary astygmatyzmu przedniej i tylnej powierzchni rogówki wykonano za pomocą obrotowej kamery Scheimpfluga czyli aparatu Pentacam. Pentacam ma wysokiej rozdzielczości 3-wymiarowy tryb skanowania; kamera jest w stanie uchwycić 138.000 punktów. Keratometrię mierzono również za pomocą biometru optycznego IOLMaster 700. Aparat IOLMaster 700 mierzy punkty na rogówce zlokalizowane w zakresie centralnie umiejscowionych okręgów o średnicy 1.5mm, 2.5mm oraz 3.5mm; w sumie jest to około 270 punktów.

Na podstawie danych z keratometrii przedoperacyjnej astygmatyzm klasyfikowano jako zgodny z regułą (WTR; 60–120°), przeciwny regule (ATR; 0–30° lub 150–180°) bądź skośny (30–60° lub 120–150°).

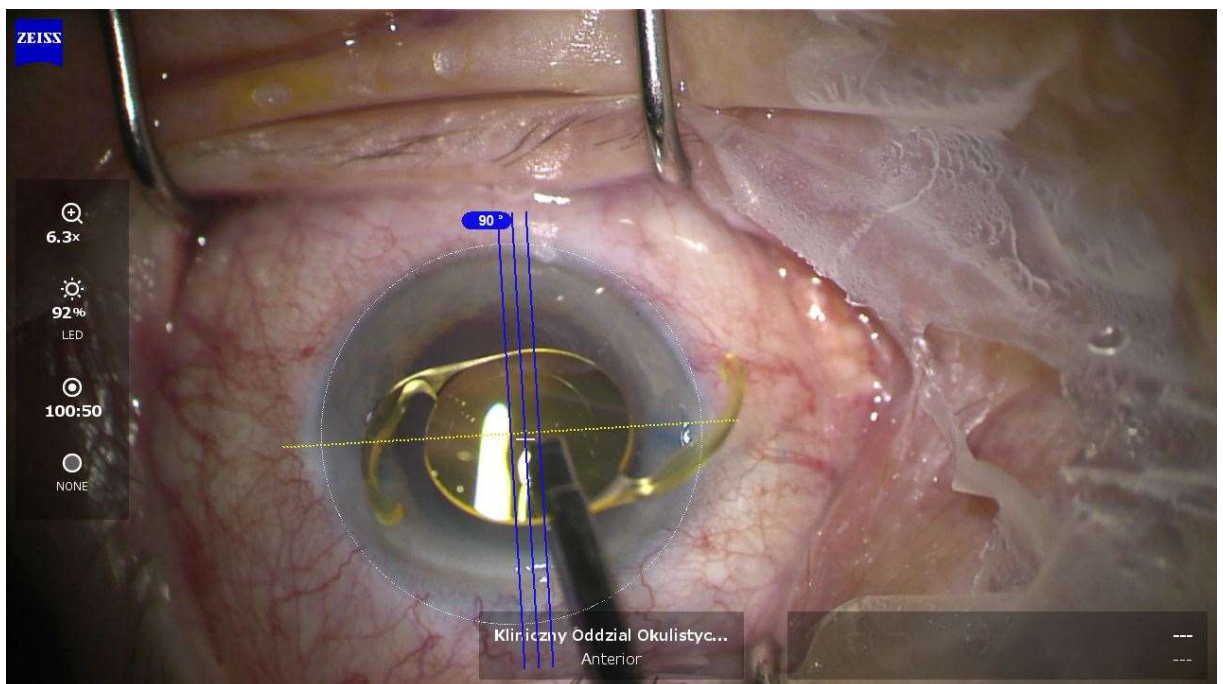
Pacjenci poddani byli zabiegowi usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej. Używano soczewek torycznych AcrySof IQ Toric SN6ATx (Alcon Laboratories, Ft. Worth, TX, USA). Są to soczewki monofokalne, hydrofobowe, asferyczne, z optyką o średnicy 6mm. W obwodowej części optyki soczewki te posiadają znaczniki wyznaczające stromą oś mocy torycznej, które pozwalają na umieszczenie ich w założonej osi. Soczewki te są dostępne w zakresie mocy 1.5-6.0 D cylindra (co pozwala korygować 0.75-4.75DC). Ich zakres sferyczny wynosi +6.0- +30.0 dioptrii.

Przed zabiegiem, w pozycji siedzącej, wykonywano obraz referencyjny za pomocą biometru optycznego IOLMaster 700 i przenoszono go do systemu Callisto, który używany był wraz z mikroskopem Opmi Lumera 700 (Carl Zeiss Meditec GmbH). Podczas wszczepiania soczewki torycznej obraz referencyjny porównywany był z obrazem „na żywo” z mikroskopu, następnie ustalana była właściwa oś za pomocą funkcji Z Align. Dzięki zastosowaniu technologii Callisto Z Align soczewka toryczna była ustawiana dokładnie w osi południka stromego.

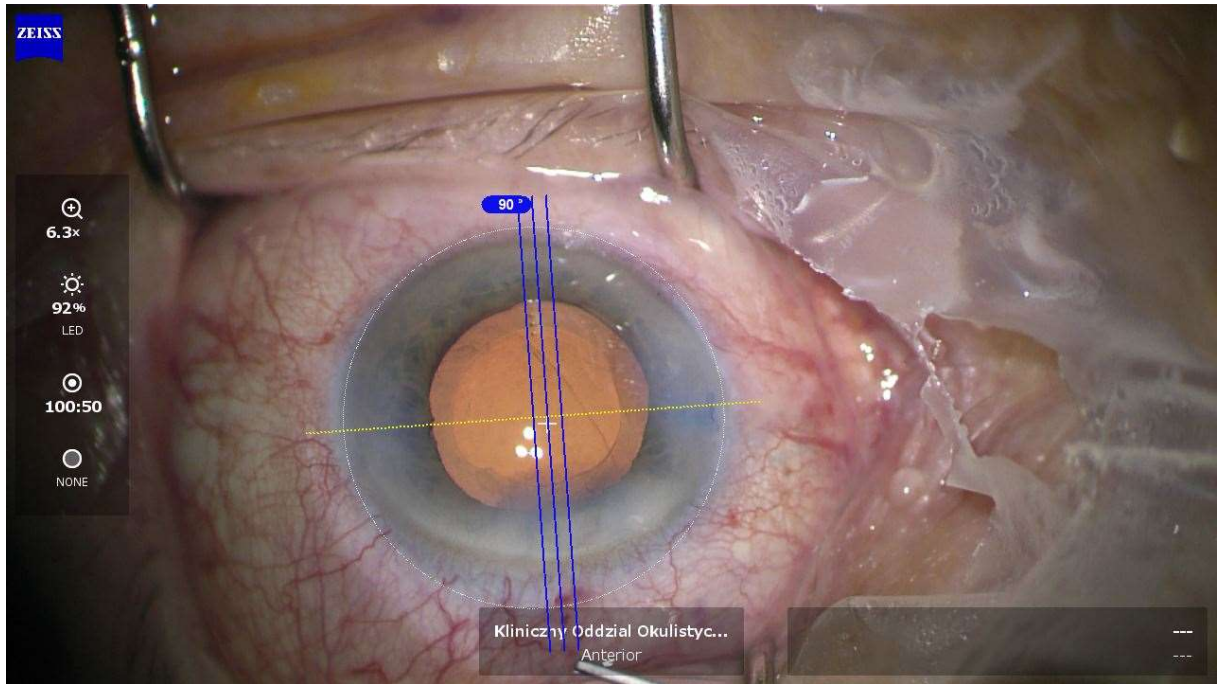




Ryc.6. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko z soczewką własną z zadaniem rozmiarem kapsuloreksy



Ryc.7. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko po usunięciu zaćmy przed wszczępieniem sztucznej soczewki z narzuconą osią jej ustawienia



*Ryc.8. Obraz z mikroskopu operacyjnego- oko po wszczepieniu sztucznej soczewki torycznej. Widoczne markery na soczewce pokrywające się z narzuconą osią jej ustawienia*

W trakcie badań kontrolnych po zabiegu poszerzano źrenice pacjenta i wykonywano zdjęcie za pomocą fundus kamery tak, aby widoczne były oznaczenia na soczewce torycznej. Następnie zdjęcie było wprowadzane do aplikacji Goniotrans pozwalającej obliczyć kąt, w jakim ustawiona jest soczewka w oku. Zmierzony oraz założony kąt były porównywane.



Ryc.9. Określanie rzeczywistej osi ustawienia wszczepionej soczewki torycznej za pomocą aplikacji Goniotrans

Wszystkie zabiegi przeprowadzone były przez jednego chirurga (autora pracy). Cięcia wykonywano w osi 100° za pomocą noża 2.2 mm. Po wstrzyknięciu do komory przedniej wiskoelastiku wykonywana była kapsuloreksa o średnicy 4.5-5 mm. Zarówno oś cięcia jak i rozmiar kapsuloreksy były zaprogramowane przed zabiegiem tak, że w jego trakcie chirurg wykonywał je zgodnie z „narzuconym” na obraz rzeczywisty przez mikroskop obrazem. Następnie przeprowadzano fakoemulsyfikację oraz aspirację mas korowych w sposób typowy oraz implantowano soczewkę toryczną. Wszczep następnie ustawiano w odpowiedniej osi przy pomocy systemu śledzenia Callisto. Usuwano wiskoelastyk z komory przedniej oraz z za soczewki. Nie zakładano szwu na port główny. Nie wykonywano rogówkowych cięć relaksacyjnych. Jako leczenie pooperacyjne stosowano ofloksacynę 4xdziennie przez 14 dni, 0,1% dexamethason początkowo 4x dziennie ze stopniową redukcją dawki przez miesiąc oraz bromfenak 2 x dziennie przez miesiąc.

### 3.4. Metody statystyczne

Założenia o normalność danych zbadana została przy pomocy testu Shapiro-Wilka, natomiast jednorodność wariancji przy pomocy testu Levene'a.

Analiza zmian po operacji w badanych parametrach, przy jednoczesnym podziale na grupy (grupa o długości gałki ocznej <22mm, >24.5mm oraz kontrolna), została

wykonana przy pomocy analizy ANOVA dla danych powtórzonych. W przypadku istotności wykonano analizę post-hoc metodą Holma.

Do parametrów, u których badano odstępstwa od zera zastosowano wartość bezwzględną.

Dodatkowo, by zweryfikować wpływ niejednorodnej liczby oczu od pojedynczego pacjenta, powtórzono analizę przy pomocy modeli mieszanych. Analiza ta pozwala szacować wariancje każdego z pacjentów z osobna, co pozwala zarówno identyfikować wiele pomiarów oczu, jak i liczyć zmiany po operacji.

Różnice w częstości dopuszczalnych wartości badanych parametrów oka w zależności od grupy (grupa o długości gałki ocznej <22mm, >24.5mm oraz kontrolna) zostały zbadane przy pomocy testu Chi kwadrat lub testu Fishera (w zależności od liczności podgrup).

Korelacja pomiędzy odległością między badanymi parametrami a zmienną opisującą jak bardzo AL odstaje od normy 22mm - 24.5mm została wykonana przy pomocy współczynnika korelacji Pearsona lub Spearmana (w zależności od normalności danych). Zgodność pomiędzy aparatami (aparat IOLMaster700, Pentacam) została zbadana przy pomocy współczynnika korelacji Intraclass (ICC).

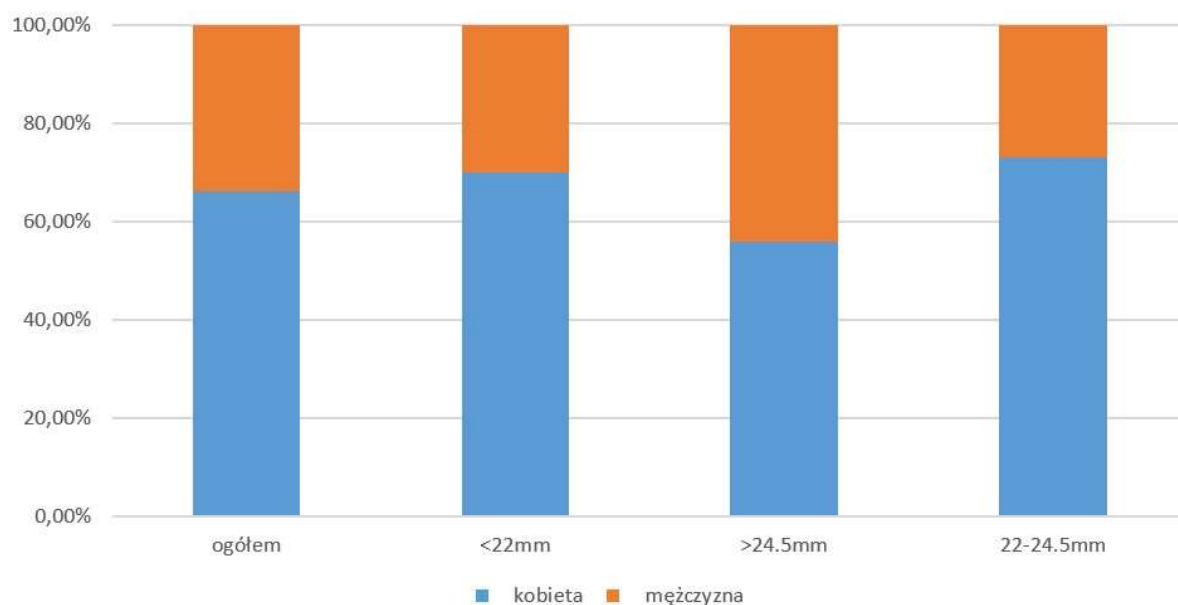
Obliczenia wykonano przy pomocy języka programowania R (wersja 4.3, Vienna, Austria). Za poziom istotności przyjęto  $p < 0,05$ .

## 4. WYNIKI

### 4.1. Płeć

66.2% wszystkich badanych było płci żeńskiej, 33.8% -męskiej. W grupie o długości gałki ocznej poniżej 22 mm (określonej dalej jako „grupa<22mm”)- 70.0% to kobiety, 30.0%- mężczyźni, w grupie o długości gałki ocznej powyżej 24.5 mm (określonej dalej jako „grupa>24.5mm”) 56.0% to kobiety, 44.0%- mężczyźni, w grupie kontrolnej było to odpowiednio 73.1% i 26.9%.

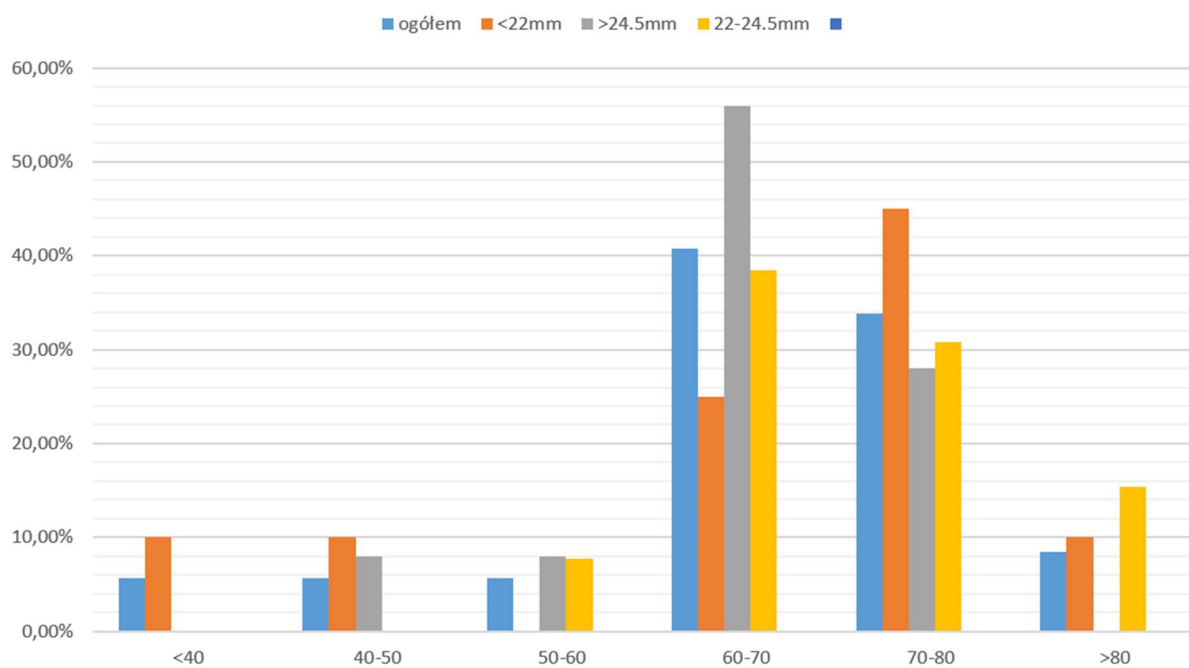
Rozkład płci przedstawiony jest na rycinie 10.



Ryc.10. Struktura grup według płci

## 4.2. Wiek

Wiek pacjentów w czasie usunięcia zaćmy wynosił średnio  $65.99 \pm 12.82$  i znajdował się w zakresie od 20 do 89 roku życia: w grupie  $<22\text{mm}$ -  $65.50 \pm 15.31$  w zakresie 34.00, 89.00, w grupie  $>24.5\text{mm}$ -  $65.16 \pm 8.06$  w zakresie 45.00, 75.00, w grupie kontrolnej-  $67.15 \pm 14.75$  w zakresie 20.00, 86.00.



Ryc.11. Prezentacja grup według przedziałów wiekowych

### 4.3. Sferyczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej

Sferyczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej wynosiła:

-w grupie <22mm średnio: 5.5 (mediana) (IQR: 4.19, 7.00) (zasięg: +2.5, +10.25);

-w grupie >24.5mm: -4.75 (mediana) (IQR:-8.06, -2.88) (zasięg: -20.50, +2.00);

-w grupie kontrolnej: 1.5 (mediana) (IQR: 0.00, 2.75) (zasięg: -7.5, +4.75).

Różnica refrakcji przedoperacyjnej w sferze była statystycznie istotna ( $p < 0,001$ ) między wszystkimi grupami.

Refrakcja przedoperacyjna powyżej 3.0D w grupie <22.0mm występowała u 85,7%, poniżej 3.0D w grupie >24.5mm u 81.3%.

U 6 pacjentów (2 w grupie >24.5mm, 4 w grupie kontrolnej) nie udało się zbadać refrakcji przedoperacyjnej ze względu na stopień zaawansowania zaćmy.

### 4.4. Sferyczna komponenta refrakcji po 3 miesiącach od zabiegu

Absolutna średnia wartość sferycznej resztkowej pooperacyjnej wady refrakcji wyniosła:

-w grupie <22mm  $0.42 \pm 0.57$  (zakres: -0.75, 1.00);

-w grupie >24.5  $0.34 \pm 0.30$  (zakres: -1.00, 1.25);

-w grupie kontrolnej  $0.37 \pm 0.28$  (zakres: -0.75, 1.00).

W grupie <22mm sferyczną komponentę refrakcji poniżej 0.25D udało się uzyskać u 55.2%, poniżej 0.5D- u 75.9%, poniżej 0.75D- u 89.7%. U dwóch osób refrakcja uzyskana rozminęła się z założoną o >1D.

W grupie >24,5mm sferyczną komponentę refrakcji poniżej 0.25D udało się uzyskać u 60.5%, poniżej 0.5D- u 86.8%, poniżej 0.75D- u 94.7%. U jednej osoby refrakcja uzyskana rozminęła się z założoną o >1D.

W grupie kontrolnej sferyczną komponentę refrakcji poniżej 0.25D udało się uzyskać u 56.8%, poniżej 0.5D- u 81.1%, poniżej 0.75D- u 94.6%. U nikogo refrakcja uzyskana nie rozminęła się z założoną o >1D.

	<b>N</b>	<b>&lt;22mm</b> N = 29 (28%) <sup>1</sup>	<b>&gt;24.5mm</b> N = 38 (37%) <sup>1</sup>	<b>kontrola</b> N = 37 (36%) <sup>1</sup>	<b>p-value<sup>2</sup></b>
<b>Sfera po 3 miesiącach</b>	104				0.9
<=0.25		16 (55.2%)	23 (60.5%)	21 (56.8%)	
0.25 - 0.5		6 (20.7%)	10 (26.3%)	9 (24.3%)	
0.5 - 0.75		4 (13.8%)	3 (7.9%)	5 (13.5%)	
0.75 – 1		1 (3.4%)	1 (2.6%)	2 (5.4%)	
>1		2 (6.9%)	1 (2.6%)	0 (0.0%)	

<sup>1</sup> n (%)

<sup>2</sup> Fisher's exact test

*Tabela 1. Charakterystyka grup według refrakcji pooperacyjnej w sferze (D)*



#### 4.5. Cylindryczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej

Cylindryczna komponenta refrakcji przedoperacyjnej wynosiła średnio:

-w grupie <22mm: -3.00 (mediana) (IQR: -3.50, -2.44) (zasięg -6.00, -1.75);

-w grupie >24.5mm: -3.25 (mediana) (IQR: -5.00, -2.19) (zasięg -7.00, -1.50);

-w grupie kontrolnej: -3.0 (mediana) (IQR: -4.50, -2.00) (zasięg -7.25, -1.50).

Astygmatyzm przedoperacyjny powyżej 3.0 Dcyl w grupie kontrolnej występował u 57.1%, w grupie <22.0 mm - u 56.5%, a w grupie >24.5 u 60.0%.

#### 4.6. Cylindryczna komponenta refrakcji po 3 miesiącach od zabiegu

Średnia wartość cylindrycznej resztkowej pooperacyjnej wady refrakcji wyniosła:

-w grupie <22mm:  $-0.58 \pm 0.37$  (zakres: -1.50, 0.00);

-w grupie >24.5:  $-0.48 \pm 0.27$  (zakres: -1.00, 0.00);

-w grupie kontrolnej:  $-0.50 \pm 0.31$  (zakres: -1.00, 0.00).

W grupie <22mm refrakcję w cylindrze poniżej 0.25Dcyl udało się uzyskać u 31.0%, poniżej 0.5D- u 62.0%, poniżej 0.75Dcyl- u 82.7%. U dwóch osób refrakcja uzyskana rozminęła się z założoną o >1Dcyl.

W grupie >24.5mm refrakcję w cylindrze poniżej 0.25Dcyl udało się uzyskać u 39.5%, poniżej 0.5D- u 79.0%, poniżej 0.75Dcyl- u 89.5%. U jednej osoby refrakcja uzyskana rozminęła się z założoną o >1Dcyl.

W grupie kontrolnej refrakcję w cylindrze poniżej 0.25Dcyl udało się uzyskać u 32.4%, poniżej 0.5Dcyl- u 67.5%, poniżej 0.75Dcyl- u 86.9%. U nikogo refrakcja uzyskana nie rozminęła się z założoną o >1Dcyl.

	<b>N</b>	<b>&lt;22mm</b> N = 29 (28%) <sup>1</sup>	<b>&gt;24.5mm</b> N = 38 (37%) <sup>1</sup>	<b>kontrola</b> N = 37 (36%) <sup>1</sup>	<b>p-value<sup>2</sup></b>
<b>cylinder po 3 miesiącach</b>	104				0.8
<=0.25		9 (31.0%)	15 (39.5%)	12 (32.4%)	
0.25 - 0.5		9 (31.0%)	15 (39.5%)	13 (35.1%)	
0.5 - 0.75		6 (20.7%)	4 (10.5%)	7 (18.9%)	
0.75 - 1		3 (10.3%)	3 (7.9%)	5 (13.5%)	
>1		2 (6.9%)	1 (2.6%)	0 (0.0%)	

<sup>1</sup> n (%)

<sup>2</sup> Fisher's exact test

Tabela 2. Charakterystyka grup według refrakcji pooperacyjnej w cylindrze (Dcyl)

#### 4.7. Przedoperacyjny ekwiwalent sferyczny

Przedoperacyjny ekwiwalent sferyczny wyniósł średnio:

-w grupie <22mm: 3.81 (mediana) (IQR:2.63, 5.53) (zakres 0.75, 8.25);

-w grupie >24.5mm wyniósł średnio: -6.75 (mediana) (IQR:-10.06, -4.47) (zakres -24.00, -0.25);

-w grupie kontrolnej: -0,13 (mediana) (IQR -1.88, 1.13) (zakres -9.25, 2.75).

Przedoperacyjny ekwiwalent sferyczny różnił się istotnie między wszystkimi grupami.

#### 4.8. Ekwiwalent sferyczny po 3 miesiącach od zabiegu

Pooperacyjny ekwiwalent sferyczny wynosił średnio :

-w grupie <22mm:  $-0,22 \pm 0.55$  (zakres: -1.00, 1.00);

-w grupie >24.5mm:  $-0.27 \pm 0.42$  (zakres: -1.13, 0.75);

-w grupie kontrolnej:  $-0,22 \pm 0.43$  (zakres: -1.00, 0.63).

We wszystkich grupach zmiana w czasie była statystycznie istotna.

#### 4.9. Stabilność rotacyjna

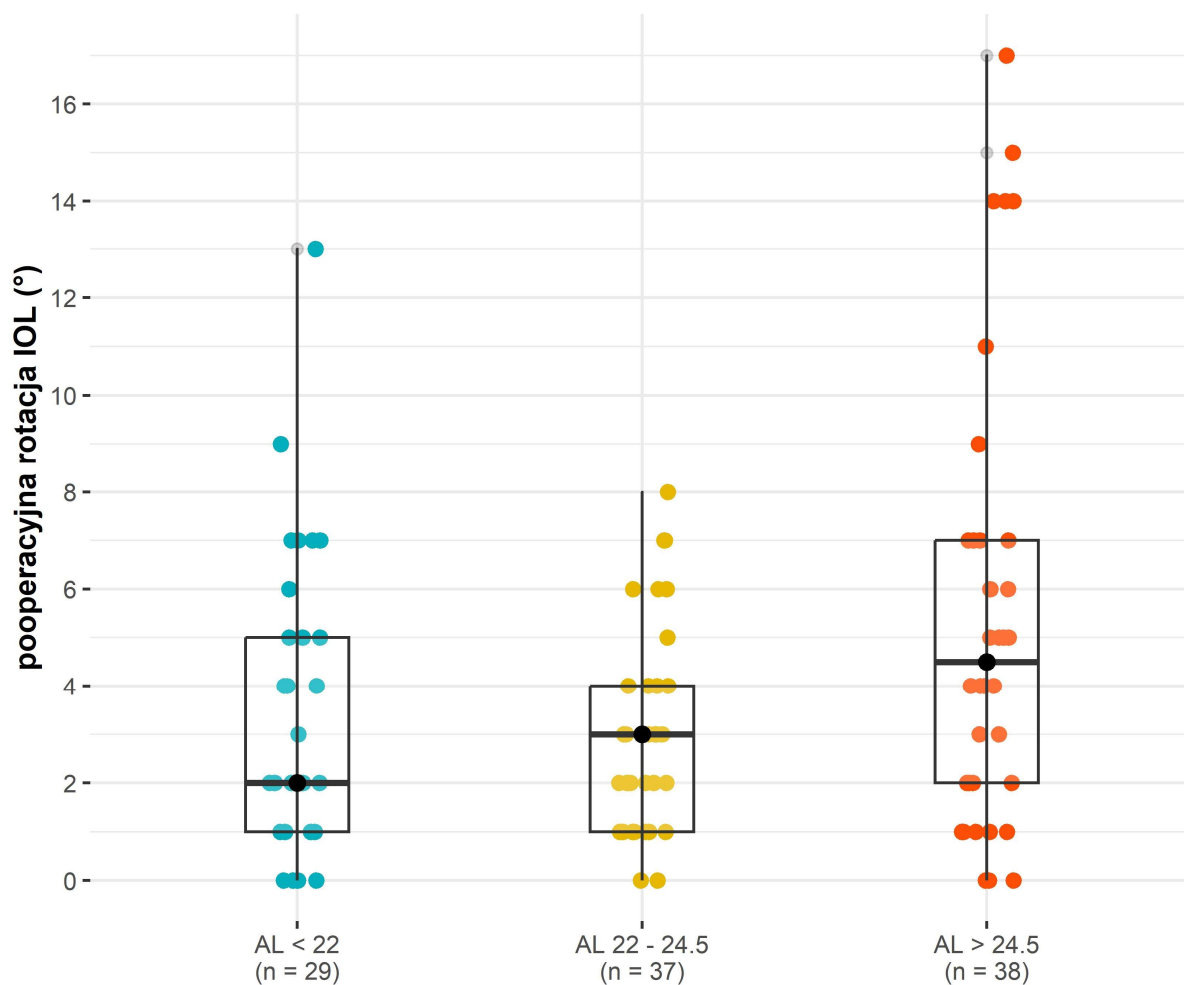
Średnia pooperacyjna rotacja soczewki po 3 miesiącach od zabiegu wynosiła:

-w grupie <22mm:  $3.48^\circ \pm 3.2^\circ$ ;

-w grupie >24.5mm:  $5.37^\circ \pm 4.52^\circ$ ;

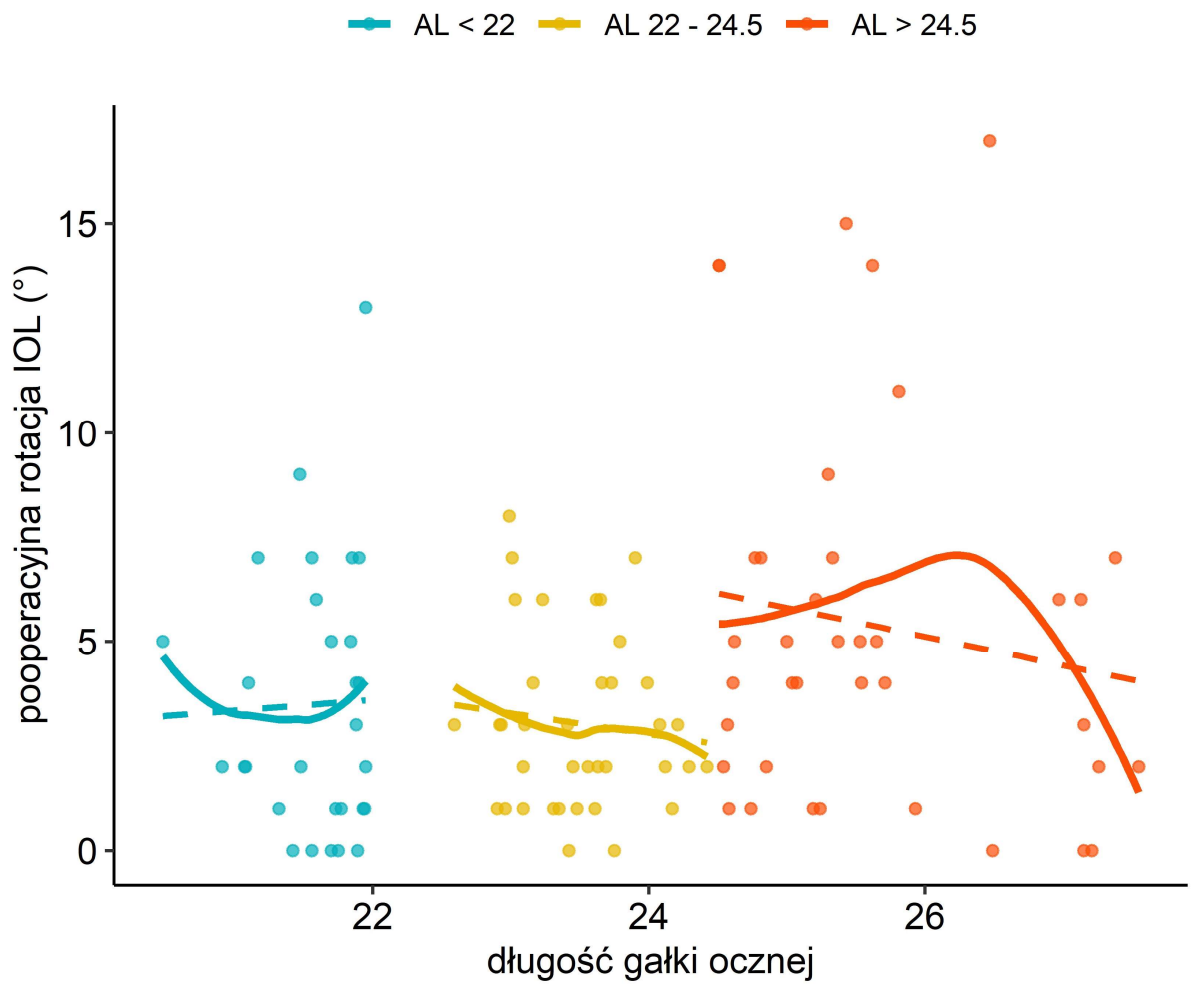
-w grupie kontrolnej:  $3.03^\circ \pm 2.10^\circ$ .

Do rotacji powyżej  $5^\circ$  doszło u pacjentów 7 z grupy <22mm, 7- z grupy kontrolnej oraz 14 z grupy >24.5mm. Do rotacji powyżej  $10^\circ$  doszło u 5 pacjentów z grupy >24.5mm, u 1 z grupy <22mm oraz u żadnego pacjenta z grupy kontrolnej. Żaden pacjent nie wymagał repozycji soczewki.



Ryc.12. Wartości bezwzględne rotacji pooperacyjnej po 3 miesiącach w każdej z grup

W analizie post-hoc statystycznie istotną różnicę rotacji pooperacyjnej w odniesieniu do grupy kontrolnej wykazała grupa >24.5mm (p=0,012).



Ryc.13. Wartości bezwzględne rotacji pooperacyjnej po 3 miesiącach w zależności od długości gałki ocznej

#### 4.10. Kierunek rotacji pooperacyjnej po 3 miesiącach od zabiegu

Pooperacyjna rotacja zgodna z ruchem wskazówek (CWR) zegara zapisywana była jako wartość dodatnia, rotacja przeciwna do ruchu wskazówek zegara (CCWR) zapisywana była jako wartość ujemna.

CWR odnotowano u:

-48.3% pacjentów z grupy < 22mm (średnio  $4.36^{\circ} \pm 3.48^{\circ}$ );

-34.2% z grupy >24.5mm (średnio  $4.69^{\circ} \pm 3.04^{\circ}$ );

-56.8% w grupie kontrolnej (średnio  $3.05^{\circ} \pm 1.77^{\circ}$ ).

CCWR odnotowano u:

-34.5% pacjentów z grupy < 22mm (średnio  $-4.00^{\circ} \pm 2.49^{\circ}$ );

-57.9% z grupy >24.5mm (średnio  $-6.5^{\circ} \pm 5.00^{\circ}$ );

-37.8% w grupie kontrolnej (średnio  $-3.43^{\circ} \pm 2.41^{\circ}$ ).

Rotacja nie wystąpiła w ogóle u:

-17.2% pacjentów z grupy < 22mm;

-7.9% z grupy >24.5mm;

-5.4% w grupie kontrolnej.

	<b>N</b>	<b>&lt;22mm</b> N = 29 (28%) <sup>1</sup>	<b>&gt;24.5mm</b> N = 38 (37%) <sup>1</sup>	<b>kontrola</b> N = 37 (36%) <sup>1</sup>	<b>p-value</b> <sup>2</sup>
<b>CWR_CCWR</b>	104				0.14
CCWR		10 (34.5%)	22 (57.9%)	14 (37.8%)	
CWR		14 (48.3%)	13 (34.2%)	21 (56.8%)	
Brak rotacji		5 (17.2%)	3 (7.9%)	2 (5.4%)	

<sup>1</sup> n (%)

<sup>2</sup> Fisher's exact test

*Tabela 3. Charakterystyka grup według kierunku rotacji pooperacyjnej*

#### **4.11. Wartość rotacji pooperacyjnej zgodnej z ruchem wskazówek zegara (CWR) po 3 miesiącach od zabiegu**

W grupie, w której do rotacji pooperacyjnej doszło w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, średnia rozbieżność między założoną osią ustawienia soczewki torycznej, a faktyczną osią, w której ustawiona była soczewka wyniosła:

-dla grupy <22mm:  $4.36^{\circ} \pm 3.48^{\circ}$  (zakres:  $1^{\circ}$ - $13^{\circ}$ )

-dla grupy 24.5mm:  $4.69^{\circ} \pm 3.04^{\circ}$  (zakres  $1^{\circ}$ - $11^{\circ}$ ),

-dla grupy kontrolnej:  $3.05^{\circ} \pm 1.77^{\circ}$  (zakres  $1^{\circ}$ - $7^{\circ}$ ).

Uwagę zwraca, iż zarówno zakres rotacji, jak i jej średnia oraz mediana miały najniższe wartości w grupie kontrolnej, a najwyższe w grupie z gałką oczną o długości >24.5mm.

	<b>N</b>	<b>&lt;22mm</b> N = 14 (29%) <sup>1</sup>	<b>&gt;24.5mm</b> N = 13 (27%) <sup>1</sup>	<b>kontrola</b> N = 21 (44%) <sup>1</sup>
<b>CWR</b>				
<b>Rotacja IOL po 3 miesiącach</b>	48			
średnia (SD)		4.36, (3.48)	4.69, (3.04)	3.05, (1.77)
mediana (IQR)		4.00 (2.00, 5.75)	5.00 (2.00, 6.00)	3.00 (2.00, 4.00)
zakres		1.00, 13.00	1.00, 11.00	1.00, 7.00
<b>rotacja</b>	37			
0		0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
0 - 2		6 (60.0%)	4 (44.4%)	10 (55.6%)
2 - 3		0 (0.0%)	1 (11.1%)	4 (22.2%)
3 - 4		3 (30.0%)	1 (11.1%)	3 (16.7%)
4 - 5		1 (10.0%)	3 (33.3%)	1 (5.6%)
>5		0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

*Tabela 4. Charakterystyka grup z rotacją CWR według wartości rotacji pooperacyjnej*



#### 4.12. Wartość rotacji pooperacyjnej przeciwnej do ruchu wskazówek zegara po 3 miesiącach

W grupie, w której do rotacji pooperacyjnej doszło w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, średnia rozbieżność między założoną osią ustawienia soczewki torycznej a faktyczną osią, w której ustawiona była soczewka wyniosła:

-dla grupy <22mm:  $-4.00^{\circ} \pm 2.49^{\circ}$  (zakres:  $-7.00^{\circ}$ ,  $-1.00^{\circ}$ );

-dla grupy 24.5mm:  $-6.50^{\circ} \pm 5.00^{\circ}$  (zakres:  $-17.00^{\circ}$ ,  $-1.00^{\circ}$ );

-dla grupy kontrolnej:  $-3.43^{\circ} \pm 2.41^{\circ}$  (zakres:  $-8.00^{\circ}$ ,  $-1.00^{\circ}$ ).

Również w przypadku rotacji pooperacyjnej przeciwnej do ruchu wskazówek zegara najwyższe wartości rotacji wystąpiły w grupie z gałką oczną o długości >24.5mm, a najniższe w grupie kontrolnej.

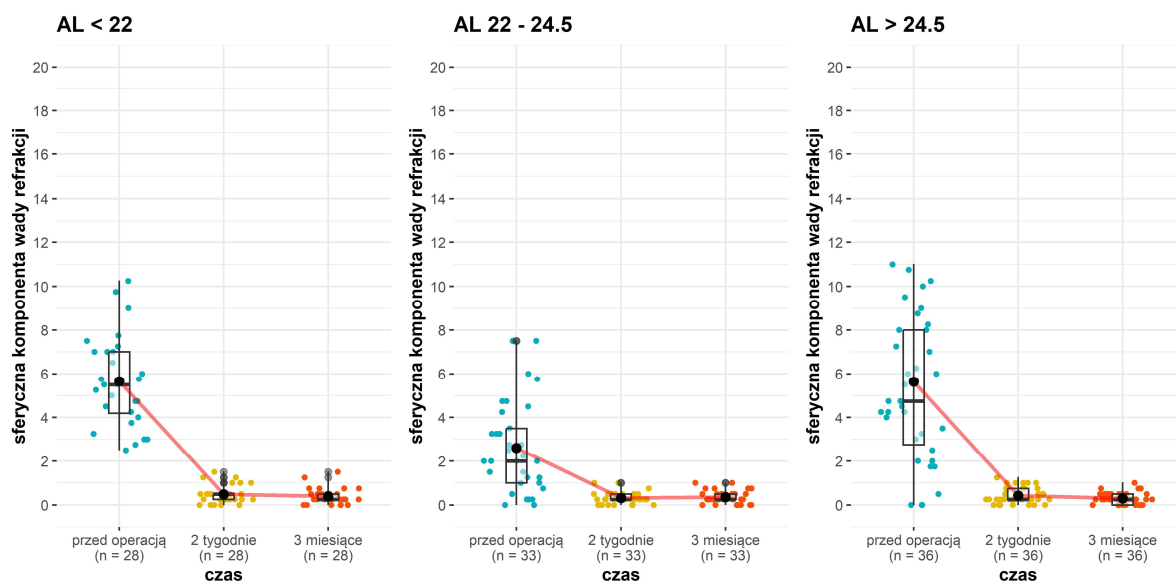
	<b>N</b>	<b>&lt;22mm</b> N = 14 (29%) <sup>1</sup>	<b>&gt;24.5mm</b> N = 13 (27%) <sup>1</sup>	<b>kontrola</b> N = 21 (44%) <sup>1</sup>
<b>CCWR</b>				
<b>rotacja po 3 miesiącach</b>	46			
Średnia, (SD)		-4.00, (2.49)	-6.50, (5.00)	-3.43, (2.41)
Mediana (IQR)		-4.00 (-6.50, -2.00)	-5.00 (-7.00, -3.25)	-3.00 (-5.50, -1.25)
Zakres		-7.00, -1.00	-17.00, -1.00	-8.00, -1.00
<b>rotacja</b>	29			
0		0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
0 - 2		4 (57.1%)	5 (41.7%)	6 (60.0%)
2 - 3		1 (14.3%)	1 (8.3%)	3 (30.0%)
3 - 4		0 (0.0%)	4 (33.3%)	1 (10.0%)
4 - 5		2 (28.6%)	2 (16.7%)	0 (0.0%)
>5		0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

<sup>1</sup> n (%)

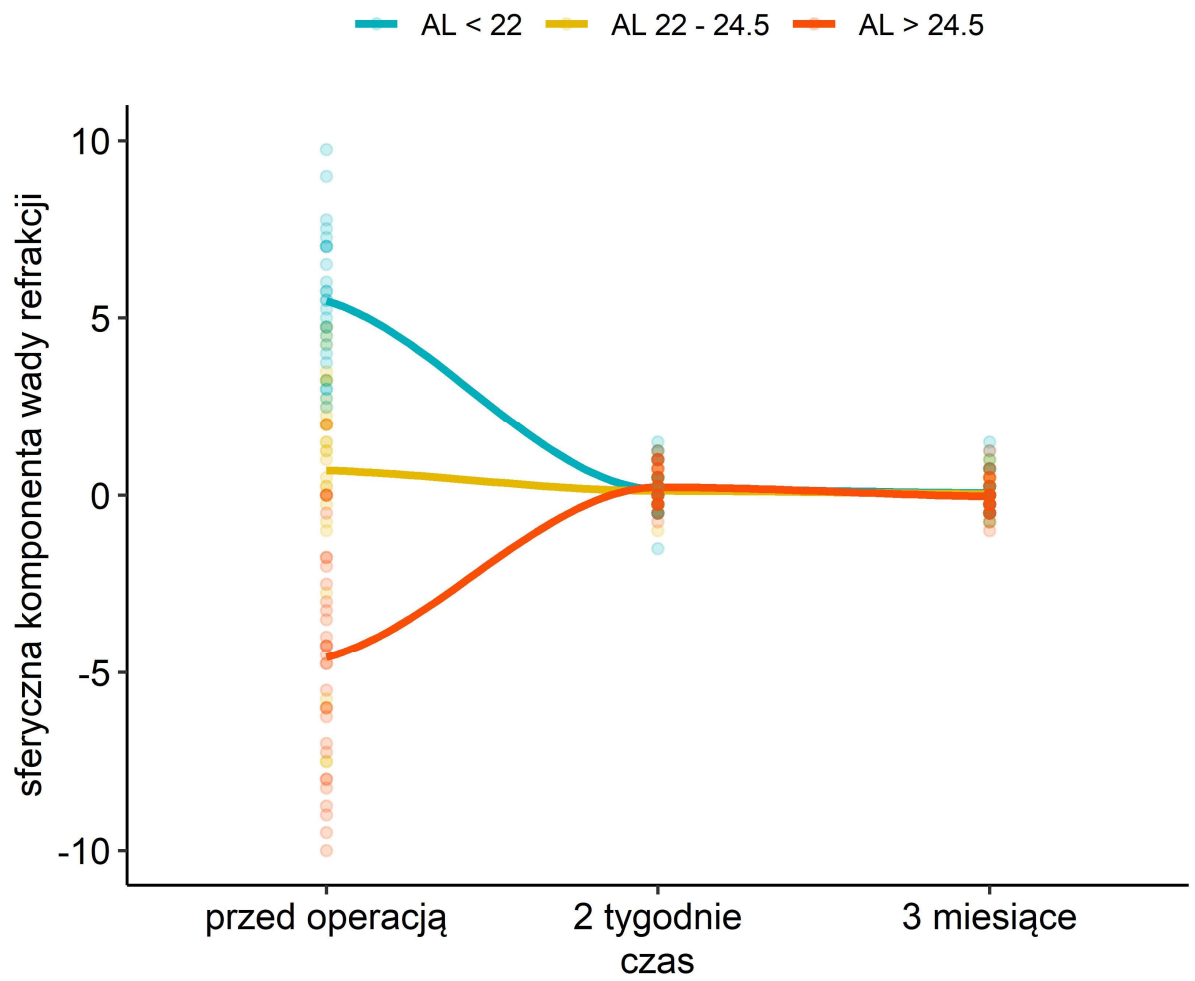
Tabela 5. Charakterystyka grup z rotacją CWR według wartości rotacji pooperacyjnej

#### 4.13. Porównanie sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach

We wszystkich grupach przedoperacyjna sferyczna komponenta refrakcji była istotnie różna od pooperacyjnej zarówno po 2 tygodniach, jak i po 3 miesiącach ( $p < 0,0001$ ).



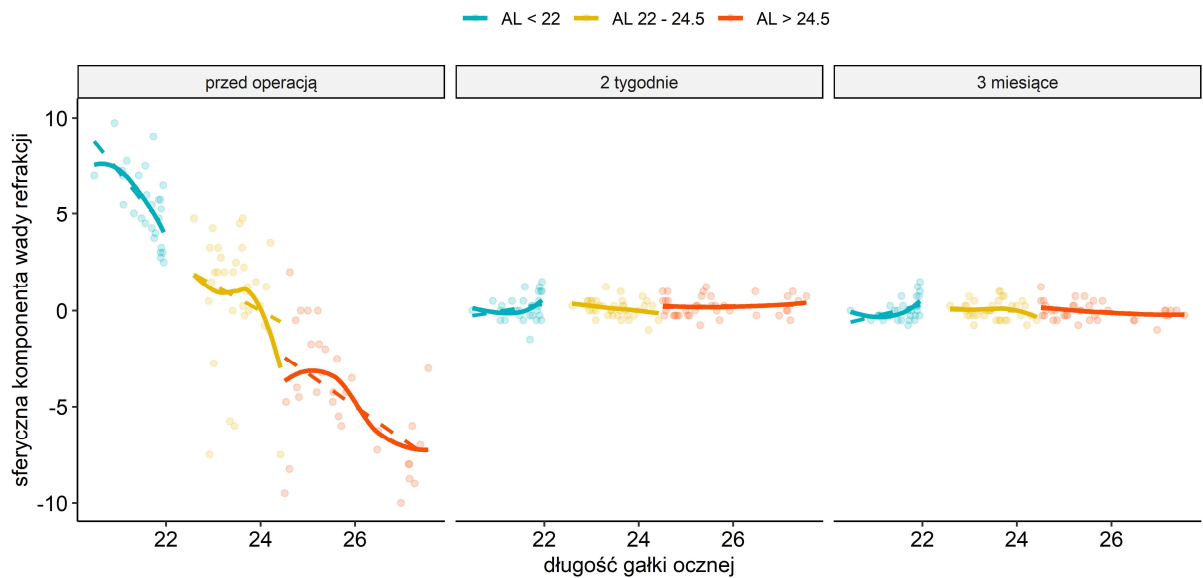
Ryc.14. Porównanie wartości bezwzględnych sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach



Ryc. 15. Wykres zmiany sferycznej komponenty refrakcji w czasie we wszystkich grupach

#### 4.14. Zależność sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

W grupie kontrolnej wraz ze wzrostem długości gałki ocznej rosła wartość wady resztkowej (p=0,032). W grupie pacjentów krótkowzrocznych zmiana ta była bliska istotności statystycznej (p=0,056).

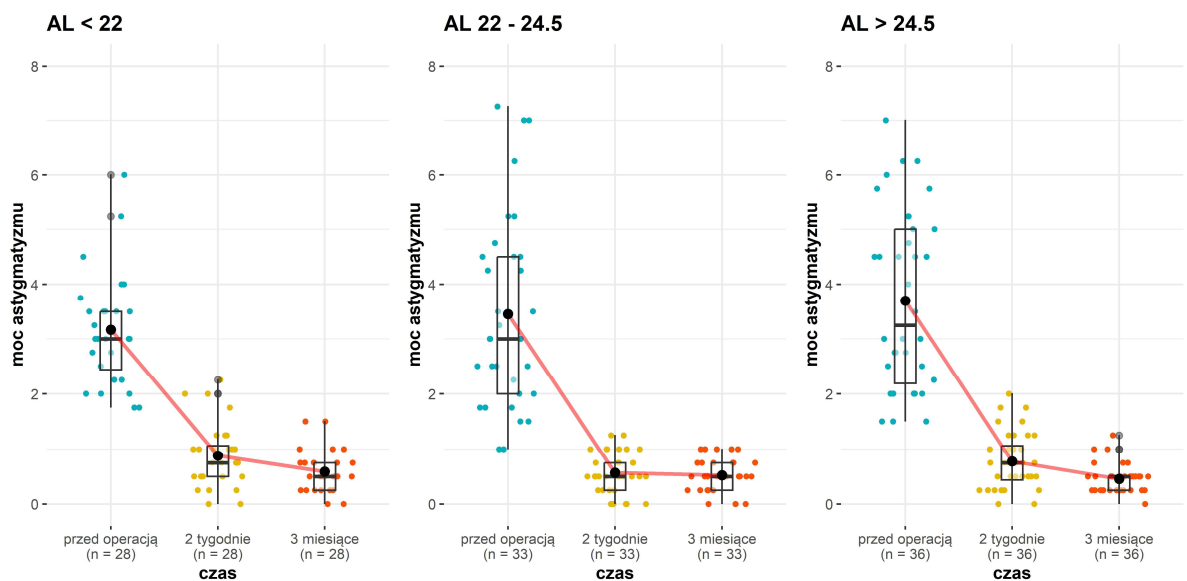


Ryc.16. Zależność sferycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

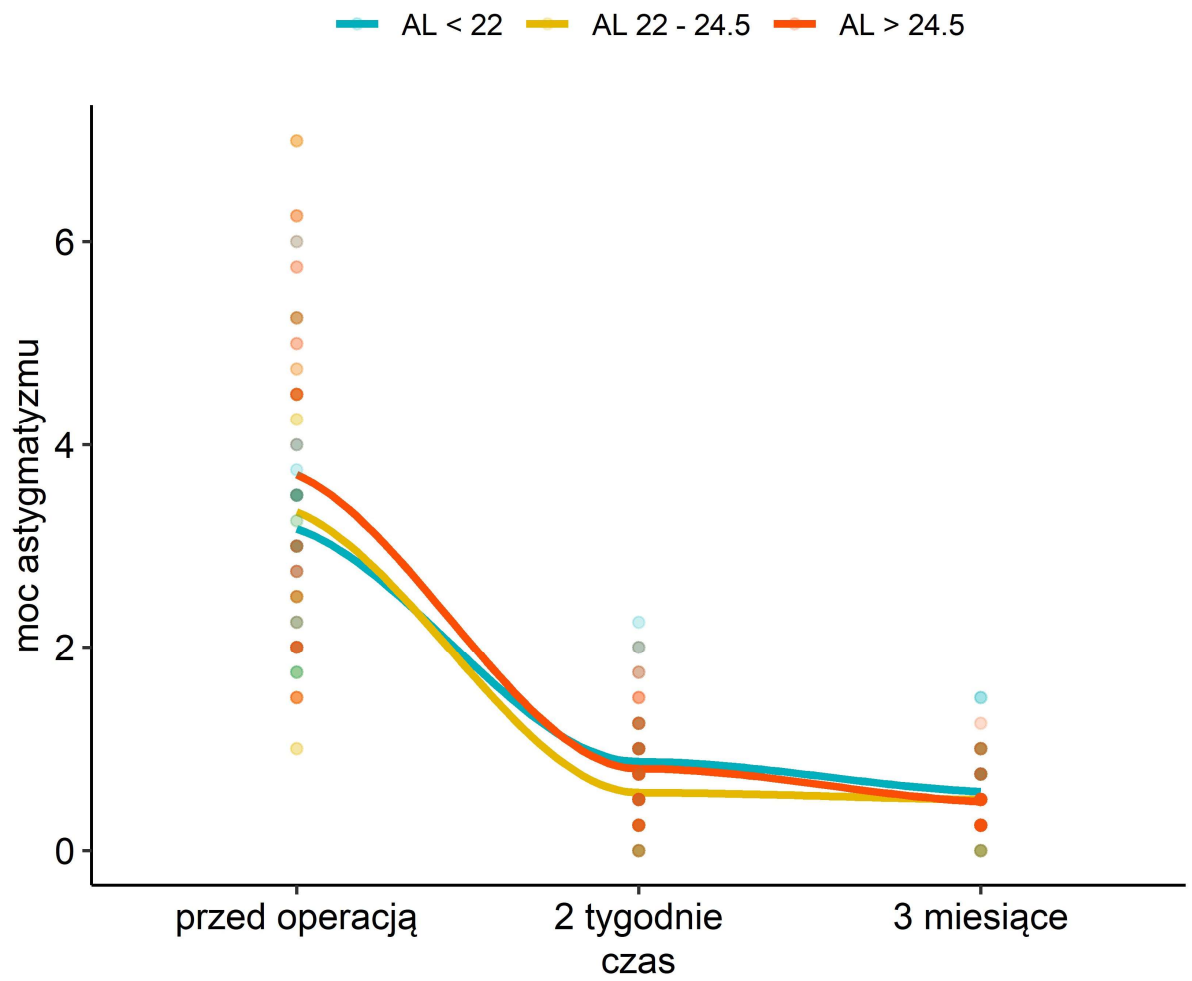
#### 4.15. Porównanie cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej we wszystkich grupach

We wszystkich grupach przedoperacyjna cylindryczna komponenta refrakcji była istotnie różna od pooperacyjnej zarówno po 2 tygodniach, jak i po 3 miesiącach ( $p < 0,0001$ ).

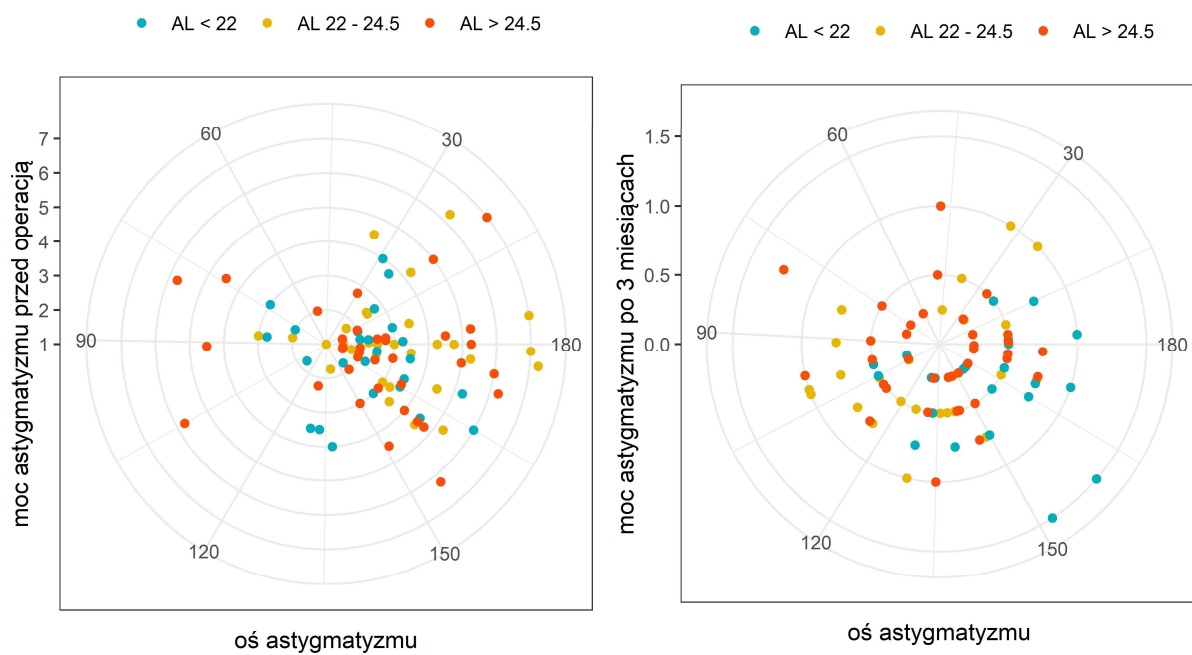
Porównując wszystkie grupy pod kątem astygmatyzmu reszkowego jedynie grupa  $< 22$  mm po 2 tygodniach od zabiegu jest istotnie różna od grupy kontrolnej. Po 3 miesiącach od zabiegu nie wykazuje już istotności statystycznej. Poza tym istotna statystycznie jest jedynie zmiana w czasie w każdej z grup.



Ryc.17. Wartości bezwzględne cylindrycznej komponenty wady refrakcji przed zabiegiem oraz 2 tygodnie i 3 miesiące po zabiegu we wszystkich grupach



Ryc. 18. Wykres zmiany cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej w czasie we wszystkich grupach

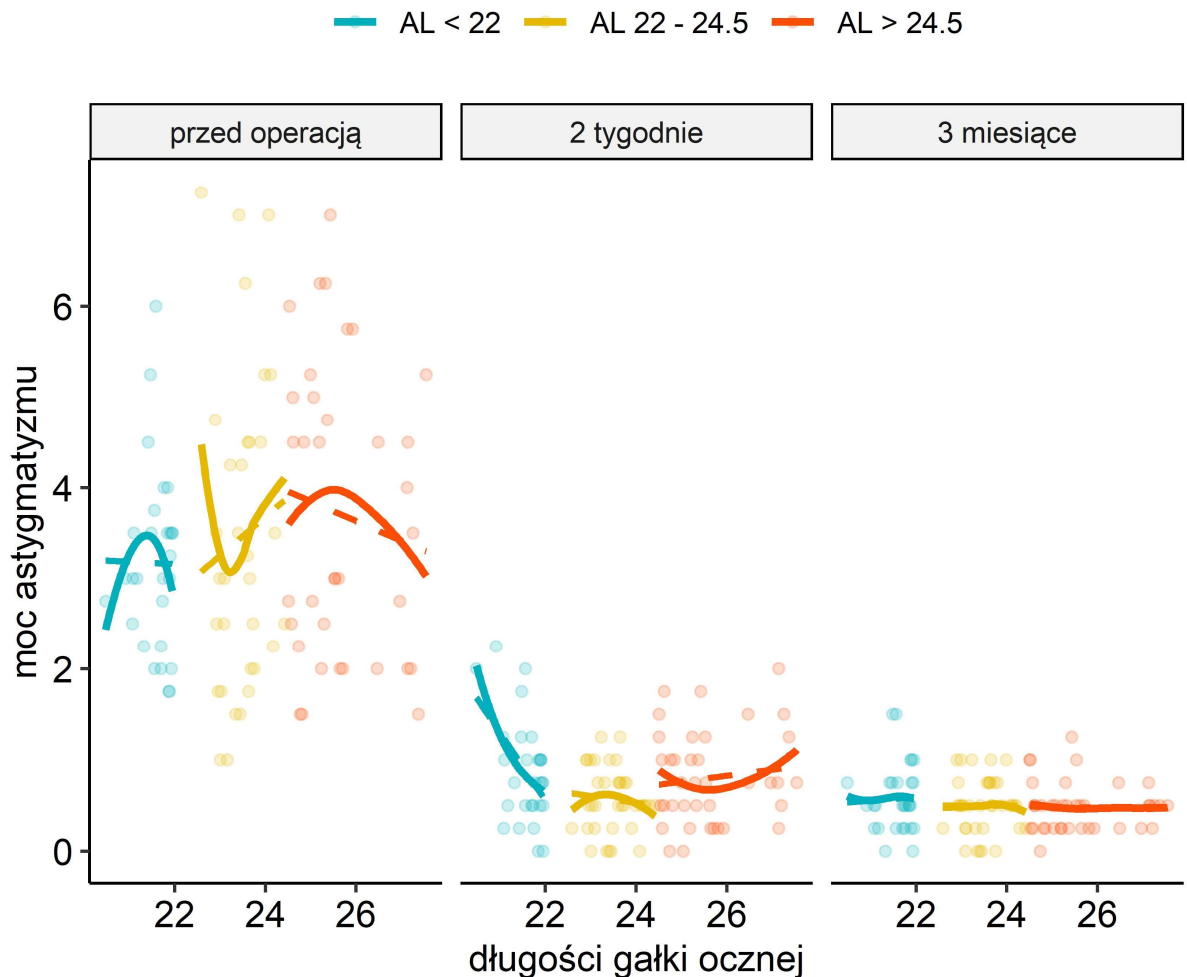


Ryc.19. Analiza wektorowa astygmatyzmu przed- oraz pooperacyjnego we wszystkich grupach



#### 4.16. Zależność cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

Nie wykazano istotnego statystycznie wpływu długości gałki ocznej na resztkowy astygmatyzm pooperacyjny ( $p > 0,05$ ).



Ryc.20. Zależność wartości bezwzględnych cylindrycznej komponenty refrakcji przed- i pooperacyjnej od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

W obu grupach badanych zaistniała istotna statystycznie różnica pomiędzy refrakcją pooperacyjną w cylindrze po 2 tygodniach a 3 miesiącach.

**<22mm**                      **>24.5mm**                      **kontrola**  
 N = 29 (28%),                      N = 38 (37%),                      N = 37 (36%),

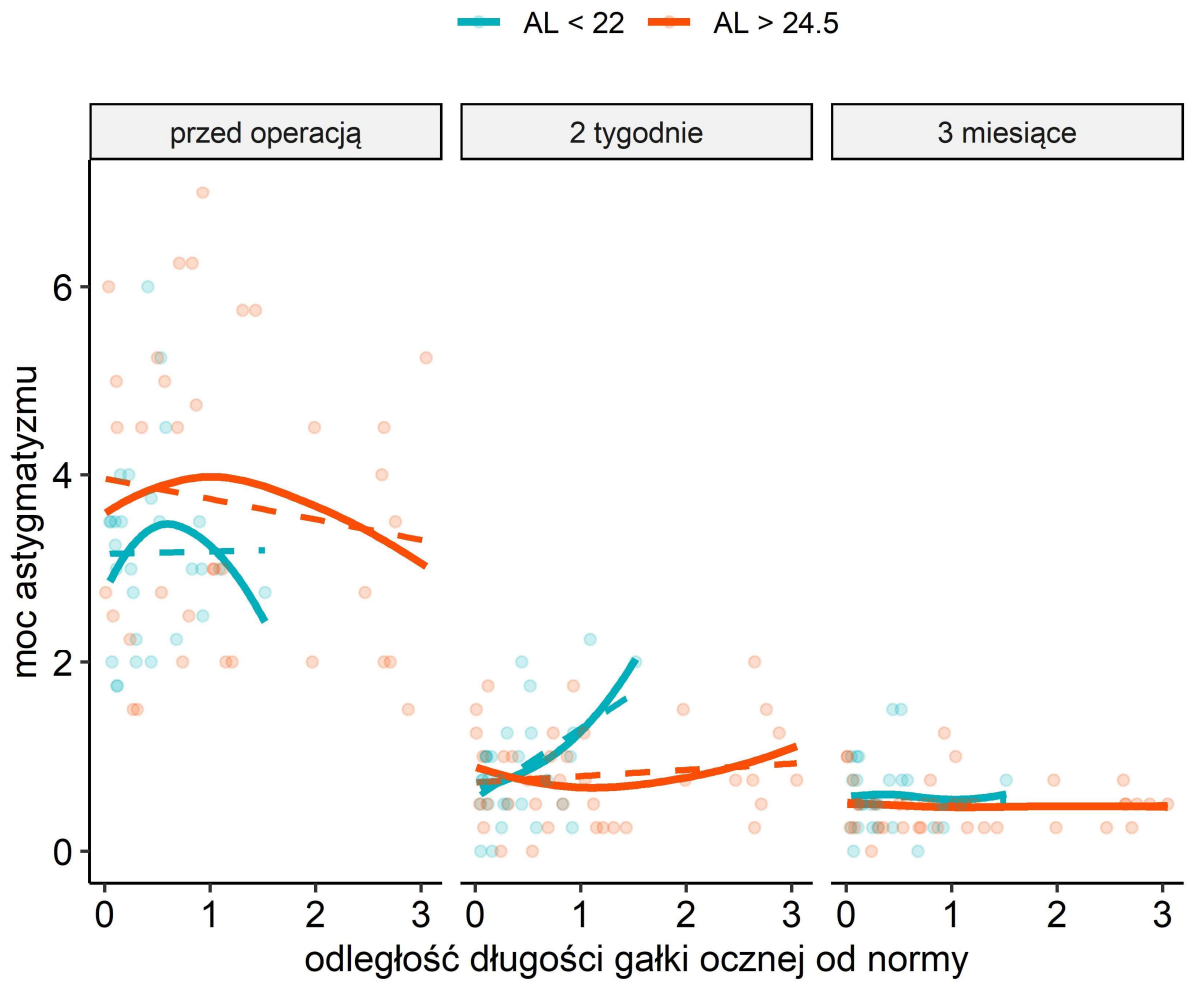
2 weeks

<b>cylinder &lt; 0.25</b>	104	2 (6.9%)	2 (5.3%)	5 (13.5%)
<b>cylinder &lt; 0.5</b>	104	5 (17.2%)	9 (23.7%)	10 (27.0%)
<b>cylinder &lt; 1</b>	104	16 (55.2%)	23 (60.5%)	29 (78.4%)

3 months

<b>cylinder &lt; 0.25</b>	104	2 (6.9%)	1 (2.6%)	5 (13.5%)
<b>cylinder &lt; 0.5</b>	104	9 (31.0%)	15 (39.5%)	12 (32.4%)
<b>cylinder &lt; 1</b>	104	24 (82.8%)	34 (89.5%)	32 (86.5%)

*Tabela 7. Analiza jakościowa astygmatyzmu resztkowego we wszystkich grupach po 2 tygodniach i 3 miesiącach od zabiegu*

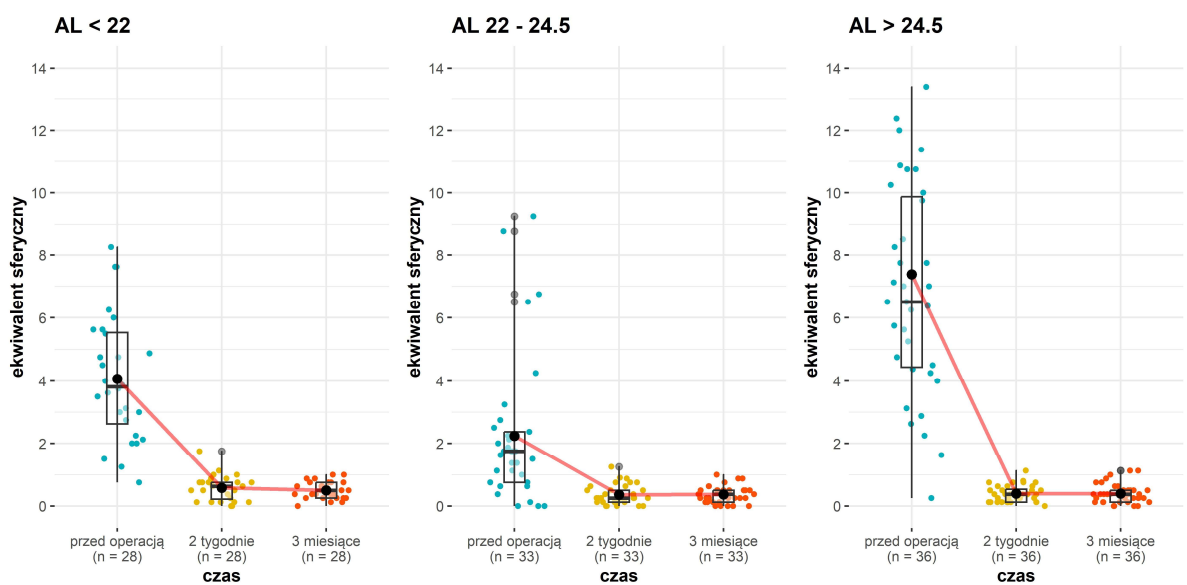


Ryc.21. Korelacja mocy cylindra i odległości długości gałki ocznej od normy (22-24.5mm)

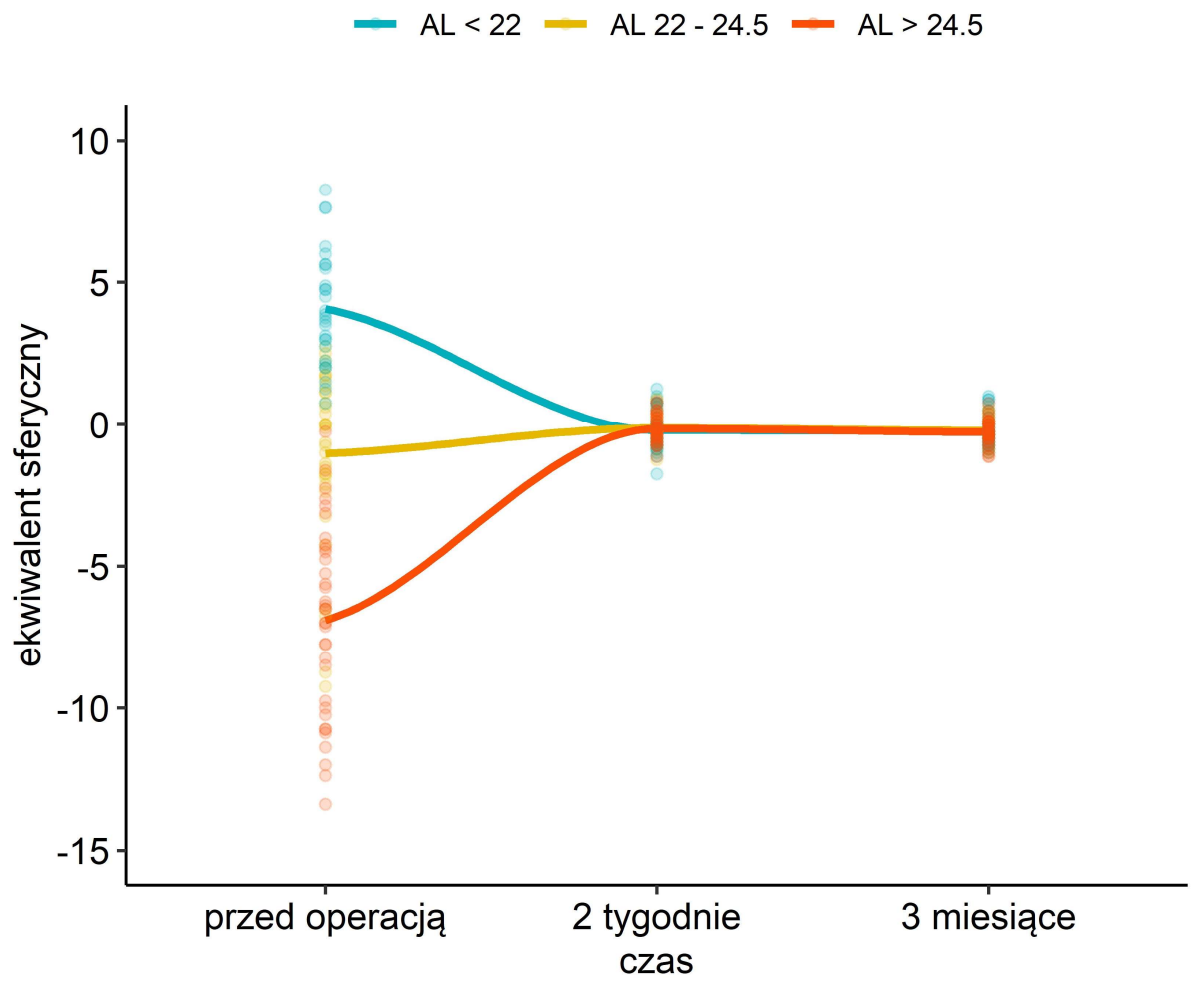
#### 4.17. Porównanie przed- i pooperacyjnego ekwiwalentu sferycznego we wszystkich grupach

Różnica przedoperacyjnego ekwiwalentu sferycznego była statystycznie istotna ( $p < 0,001$ ) między wszystkimi grupami.

Analiza post-hoc wykazała istotne zmiany przed operacją a zarówno 2 tygodniach, jak i 3 miesiącach. Różnica pomiędzy 2 tygodniami a 3 miesiącami nie okazała się istotna. Po dwóch tygodniach grupa  $< 22\text{mm}$  była istotnie różna od grup  $> 24.5\text{mm}$  i kontroli ( $p = 0,008$ ). Po trzech miesiącach wszystkie grupy nie były istotnie różne.



Ryc.22. Wartości bezwzględne SE przed zabiegiem oraz 2 tygodnie i 3 miesiące po zabiegu we wszystkich grupach

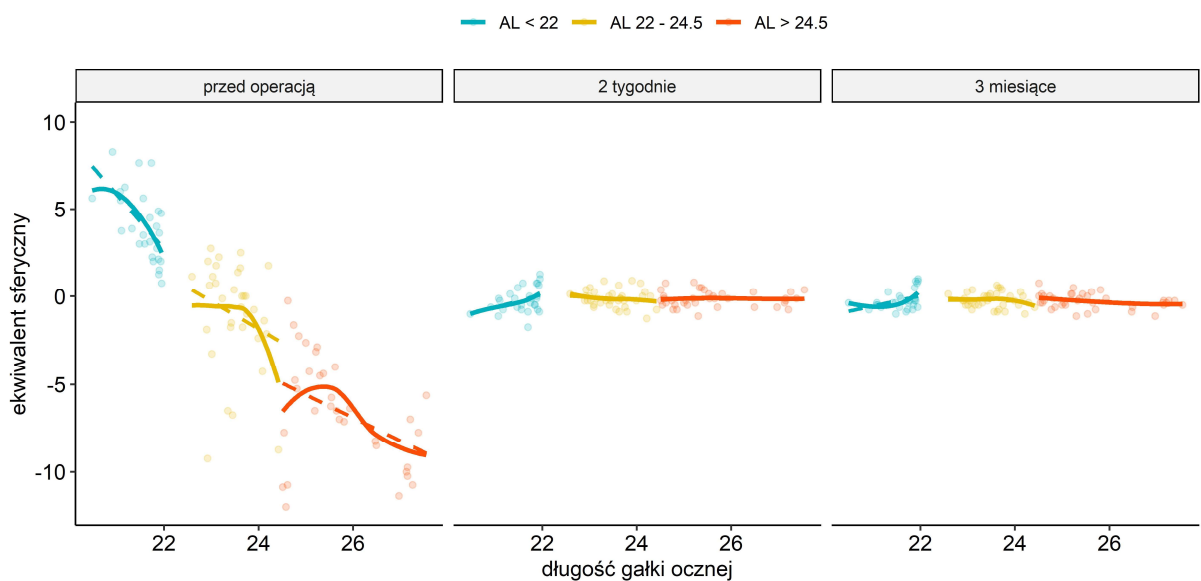


Ryc.23. Wykres zmiany wartości ekwiwalentu sferycznego przed i po operacji we wszystkich grupach

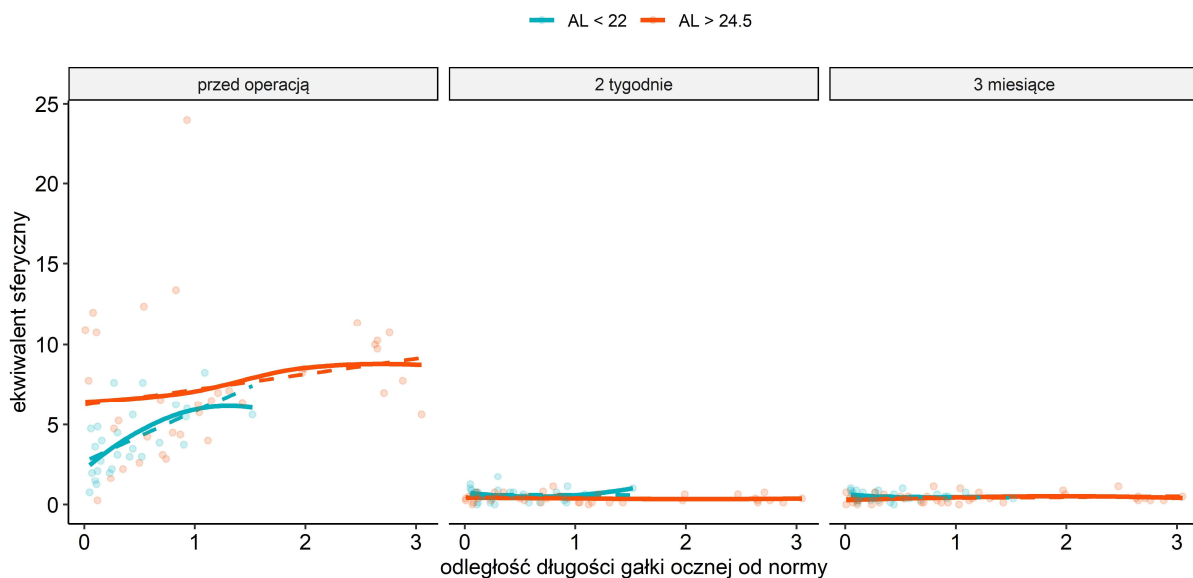
#### 4.18. Zależność przed- i pooperacyjnego ekwiwalentu sferycznego od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

Przed operacją grupa kontrolna miała istotnie częściej niższe wartości SE. Po 2 tygodniach od zabiegu grupa >24.5mm i kontrolna zbliżyły się do siebie w wynikach i jedynie grupa <22mm miała istotnie wyższe wartości SE. Po 3 miesiącach brak było istotnej różnicy pomiędzy grupami.

Modele mieszane potwierdziły istotną zmianę SE w czasie oraz obecność wpływu długości gałki ocznej na pooperacyjny ekwiwalent sferyczny w grupie <22mm ( $p=0,008$ ).



Ryc.24. Zależność wartości przed- i pooperacyjnego SE od długości gałki ocznej we wszystkich grupach



Ryc.25. Korelacja ekwiwalentu sferycznego i odległości długości gałki ocznej od normy (22-24.5mm)

		<22mm	>24.5mm	kontrola	p-value
		N=29 (28%) <sup>1</sup>	N=38 (37%) <sup>1</sup>	N=37 (36%) <sup>1</sup>	
2 weeks					
<b>se &lt; 0.25</b>	104	7 (24.1%)	11 (28.9%)	11 (29.7%)	0.9
<b>se &lt; 0.5</b>	104	9 (31.0%)	24 (63.2%)	23 (62.2%)	0.015
<b>se &lt; 1</b>	104	24 (82.8%)	37 (97.4%)	36 (97.3%)	0.034
3 months					
<b>se &lt; 0.25</b>	104	3 (10.3%)	11 (28.9%)	9 (24.3%)	0.2
<b>se &lt; 0.5</b>	104	13 (44.8%)	24 (63.2%)	21 (56.8%)	0.3
<b>se &lt; 1</b>	104	27 (93.1%)	35 (92.1%)	36 (97.3%)	0.7

<sup>1</sup> n (%)

Tabela 7. Analiza jakościowa SE po 2 tygodniach i 3 miesiącach

#### **4.19. Przedoperacyjna nieskorygowana ostrość wzroku**

Przedoperacyjna UCVA wynosiła średnio:

- w grupie <22mm: 0.17 ( $\pm 0.14$ );
- w grupie >24.5mm: 0.11 ( $\pm 0.14$ );
- w grupie kontrolnej: 0.18 ( $\pm 0.14$ ).

Średnia przedoperacyjna UCVA we wszystkich grupach była porównywalna. W analizie nie wykazano różnic statystycznych.

#### **4.20. Przedoperacyjna najlepsza skorygowana ostrość wzroku**

Przedoperacyjna BCVA wynosiła średnio:

- w grupie <22mm-0.49 ( $\pm 0.15$ );
- w grupie >24.5mm -0.46 ( $\pm 0.13$ );
- w grupie kontrolnej 0.47 ( $\pm 0.15$ ).

Średnia przedoperacyjna BCVA we wszystkich grupach była porównywalna. W analizie nie wykazano różnic statystycznych.

#### **4.21. Pooperacyjna nieskorygowana ostrość wzroku**

UCVA po 3 miesiącach wynosiła średnio:

- w grupie <22mm-0.8 ( $\pm 0.2$ );
- w grupie >24.5mm -0.93 ( $\pm 0.14$ );
- w grupie kontrolnej 0.85 ( $\pm 0.2$ ).

UCVA po 3 miesiącach była statystycznie lepsza po operacji niż przed nią we wszystkich grupach ( $p < 0,0001$ ). Mediana w obu grupach badanych była mniejsza (0.05 w grupie >24.5mm, 0.1 w grupie <22mm) w porównaniu do grupy kontrolnej (0.2).



UCVA zarówno po 2 tygodniach jak i po 3 miesiącach od zabiegu były istotnie różne w obu grupach badanych ( $p > 0,05$ ).

#### **4.22. Pooperacyjna najlepsza skorygowana ostrość wzroku**

Pooperacyjna BCVA wynosiła średnio:

-w grupie  $< 22\text{mm}$ :  $0.90(\pm 0.15)$ ;

-w grupie  $> 24.5\text{mm}$ :  $0.98(\pm 0.10)$ ;

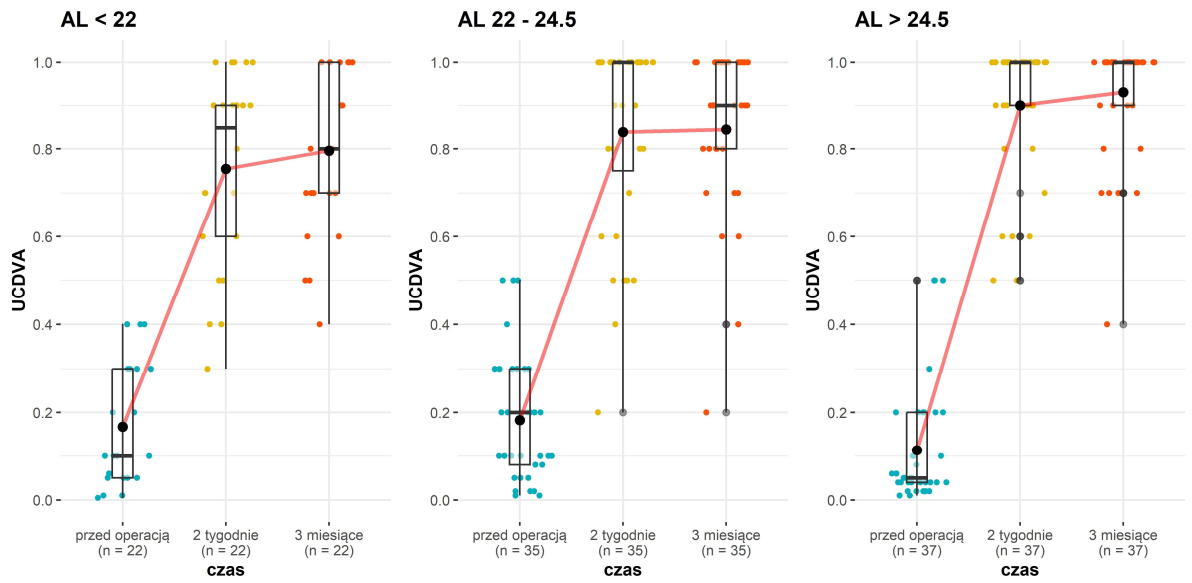
-w grupie kontrolnej:  $0.91 (\pm 0.18)$ .

Nie wykazano tu istotnej statystycznie różnicy między grupami.

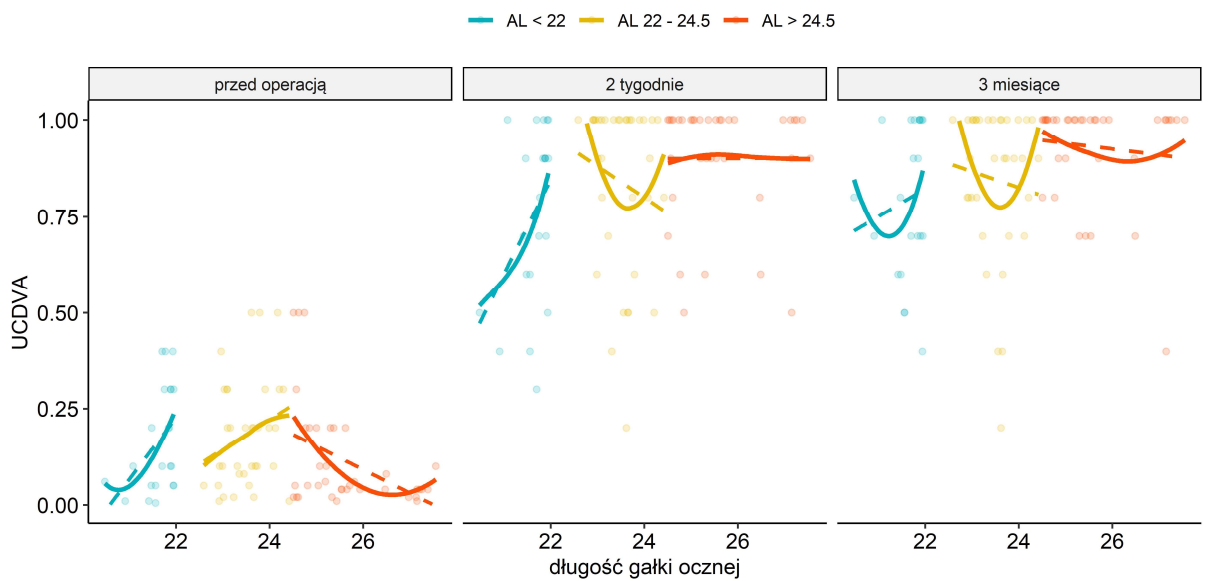
#### **4.23. Różnica nieskorygowanej ostrości wzroku przed- i pooperacyjnej**

W analizie post hoc wykazano istotną statystycznie różnicę w pooperacyjnej ostrości wzroku zarówno po 2 tygodniach ( $p=0.025$ ) jak i po 3 miesiącach ( $p=0.018$ ) między obiema grupami badanymi. Różnica między grupami badanymi a grupą kontrolną nie była istotna statystycznie, aczkolwiek bliska tej istotności w odniesieniu do grupy  $> 24.5\text{mm}$  porównywanej z grupą kontrolną po 3 miesiącach.

W analizie jakościowej w grupie  $< 22\text{mm}$  wykazano istotnie mniejszy odsetek wyższych wartości UCVA zarówno po 2 tygodniach jak i po 3 miesiącach.



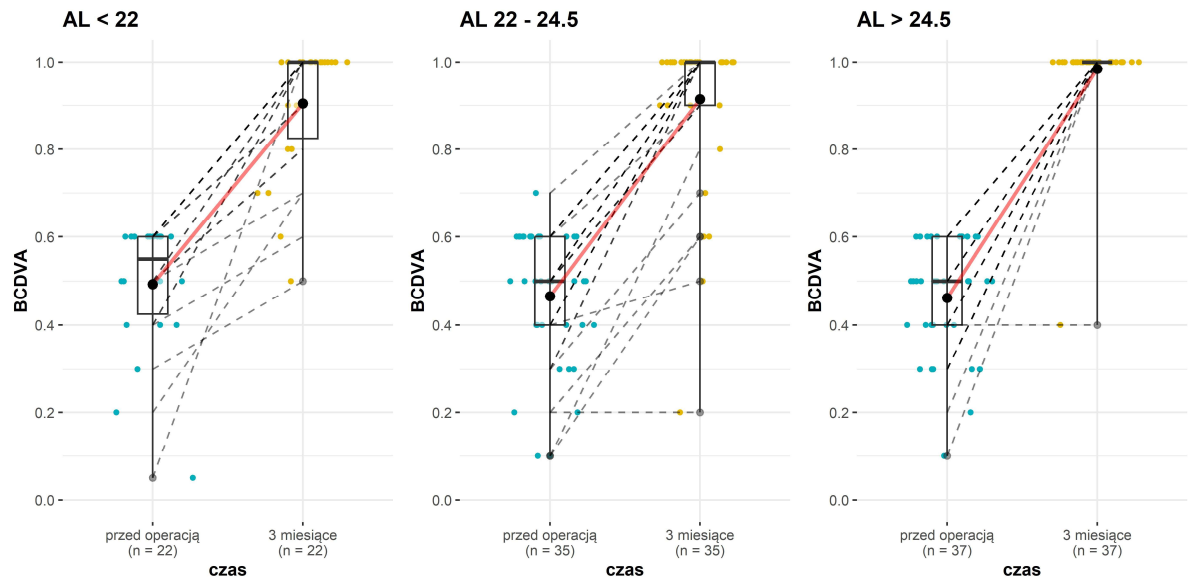
Ryc.26. Wykres zmiany UCDVA w czasie we wszystkich grupach



Ryc.27. Wykres zmiany UCDVA w czasie w zależności od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

#### 4.24. Różnica najlepszej skorygowanej ostrości wzroku przed- i pooperacyjnej

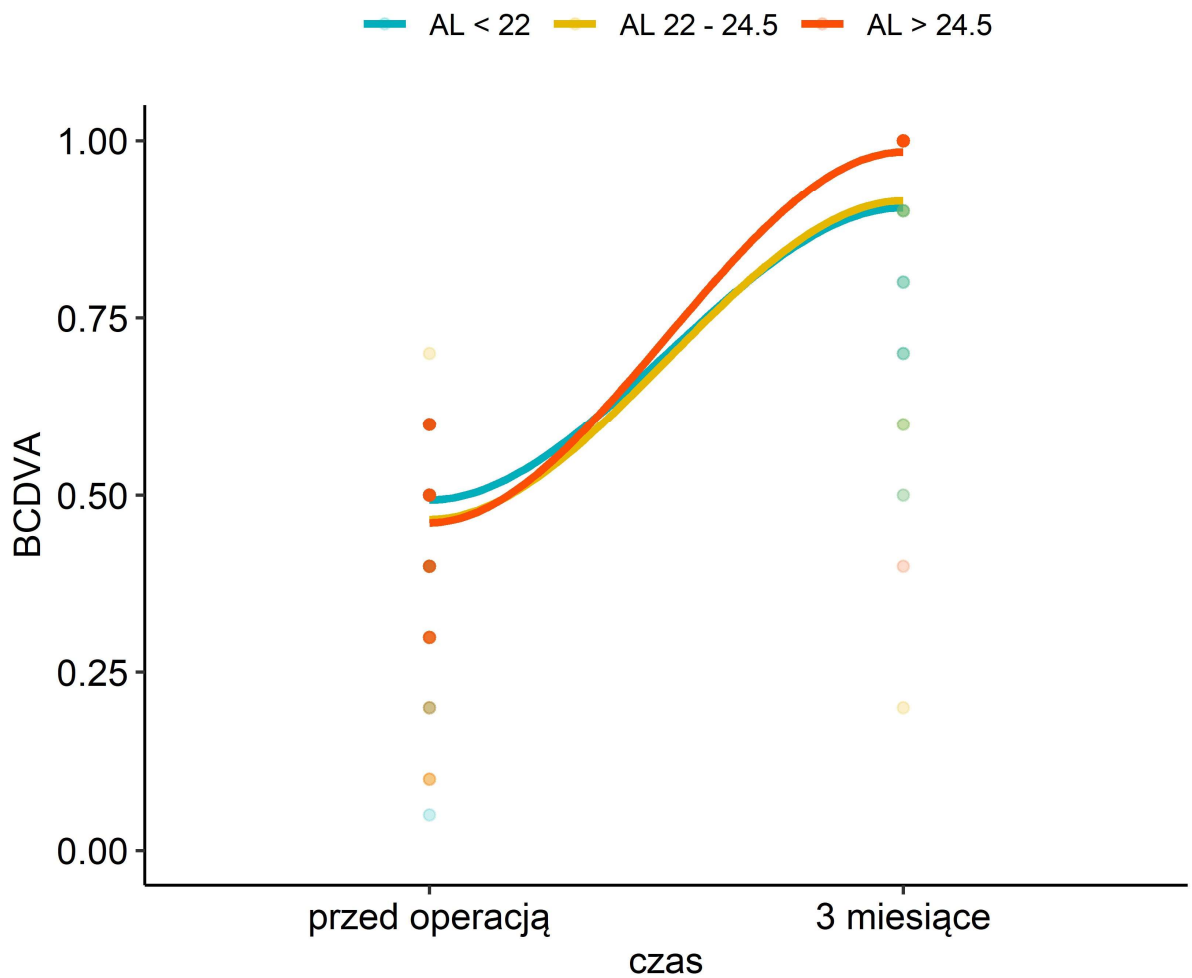
W analizie ANOVA zaobserwowano statystycznie istotną zmianę w czasie.



Ryc.28. Wykres zmiany BCVA w czasie we wszystkich grupach

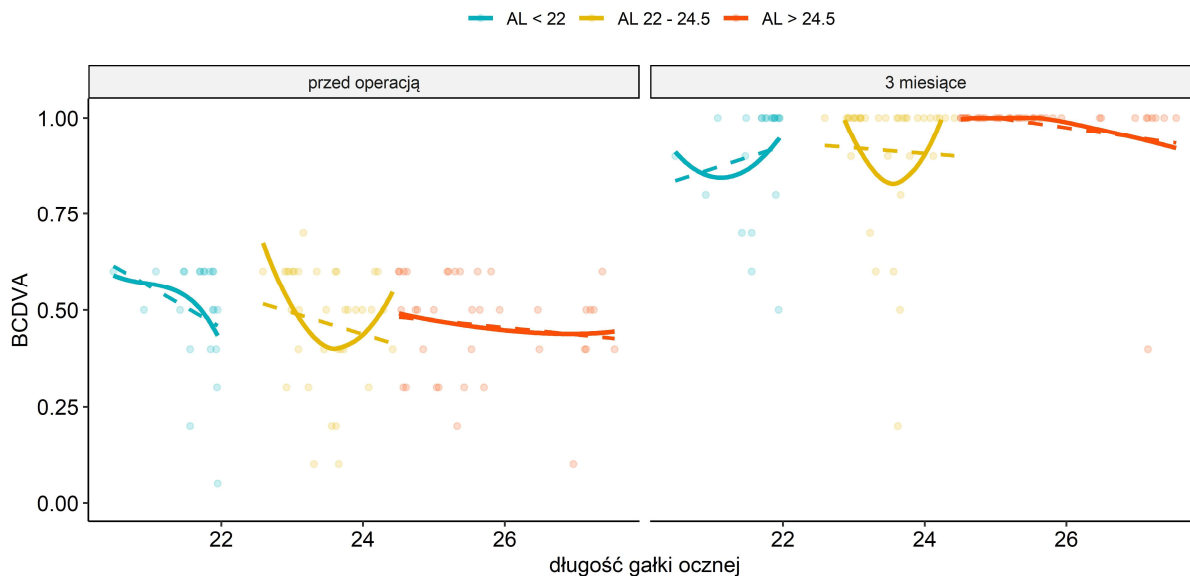
Grupy nie wykazały istotnej różnicy między sobą w poprawie BCVA, ale z racji wystąpienia istotnej interakcji sprawdzono metodą post-hoc.

Analiza post-hoc wykazała istotne zmiany przed operacją a zarówno po 2 tygodniach, jak i po 3 miesiącach. Istotna statystycznie różnica pomiędzy 2 tygodniami, a 3 miesiącami była obecna tylko w przypadku połączenia obu grup badanych.



Ryc.29. Rysunek zmiany BCDVA w czasie we wszystkich grupach

W analizie jakościowej grupa <22mm uzyskała istotnie rzadziej od grupy >24.5mm najlepszą skorygowaną ostrość wzroku >0,9 na tablicach Snellena, pomimo wykluczenia z tej analizy osób z niedowidzeniem.



Ryc.30. Wykres zmiany BCDVA w czasie w zależności od długości gałki ocznej we wszystkich grupach

#### 4.25. Porównanie przed- i pooperacyjnej keratometrii przedniej powierzchni rogówki zmierzonej za pomocą aparatów IOLMaster 700 i Pentacam

Średnie wyniki pomiarów przedoperacyjnych aparatem IOLMaster700 [(grupa <22mm:  $43.09 \pm 1.89$  i  $46.39 \pm 1.44$ ), (grupa >24.5mm:  $42.75 \pm 1.61$  i  $45.47 \pm 1.33$ ), (grupa kontrolna:  $42.20 \pm 1.71$  i  $45.51 \pm 1.67$ ) dla K1 i K2 odpowiednio] są nieco wyższe w stosunku do pomiarów wykonanych aparatem Pentacam [(grupa <22mm:  $43.18 \pm 1.86$  i  $46.24 \pm 1.58$ ), (grupa >24.5mm:  $42.60 \pm 1.61$  i  $45.20 \pm 1.31$ ), (grupa kontrolna:  $42.20 \pm 1.69$  i  $45.36 \pm 1.68$ ).

Średnie wyniki pomiarów pooperacyjnych aparatem IOLMaster700 [(grupa <22mm:  $43.12 \pm 1.92$  i  $46.30 \pm 1.50$ ), (grupa >24.5mm:  $42.84 \pm 1.58$  i  $45.39 \pm 1.22$ ), (grupa kontrolna:  $42.39 \pm 1.76$  i  $45.37 \pm 1.55$ )] są również nieco wyższe w stosunku do pomiarów wykonanych aparatem Pentacam [(grupa <22mm:  $43.20 \pm 1.82$  i  $46.08 \pm 1.45$ ), (grupa >24.5mm:  $42.74 \pm 1.61$  i  $45.23 \pm 1.36$ ), (grupa kontrolna:  $42.32 \pm 1.65$  i  $45.22 \pm 1.56$ )].

Zgodność między keratometrią mierzoną na aparatach Pentacam i IOLMaster700 okazała się wysoka. Istotna statystycznie różnica w pomiarach między oboma aparatami była jedynie w przypadku przedoperacyjnych pomiarów K1 dla wszystkich badanych grup zbiorczo ( $p < 0,001$ ).

#### **4.26. Zmiany w czasie keratometrii przedniej powierzchni rogówki mierzonej na aparatach Pentacam i IOLMaster700 we wszystkich grupach przed- i po zabiegu.**

Istotną różnicę ( $p < 0,05$ ) pomiarów K1 i K2 przed- i pooperacyjnych wykazały:

- a. Na aparacie Pentacam: K1 w grupie  $>24.5\text{mm}$ , K1 w grupie kontrolnej, K2 w grupie  $<22\text{mm}$  oraz K2 w grupie kontrolnej;
- b. Na aparacie IOLMaster700: K1 i K2 w grupie kontrolnej.

#### **4.27. Zgodność pomiarów mocy astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki mierzonej na aparatach Pentacam i IOLMaster700**

Średnia przedoperacyjna moc astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki mierzona na aparacie Pentacam wynosiła:

- w grupie  $<22\text{mm}$ :  $3.08 \pm 1.06$ ;
- w grupie  $>24.5\text{mm}$ :  $2.66 \pm 0,84$ ;
- w grupie kontrolnej:  $3.16 \pm 1.10$ .

Ta sama wartość mierzona na aparacie IOLMaster700:

- w grupie  $<22\text{mm}$  wynosiła:  $3.30 \pm 1.19$ ;
- w grupie  $>24.5\text{mm}$ :  $2.72 \pm 0,88$ ;
- w grupie kontrolnej:  $3.30 \pm 1.11$ .

Średnia pooperacyjna moc astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki mierzona na aparacie Pentacam wynosiła:

- w grupie  $<22\text{mm}$ :  $2.98 \pm 1.02$ ;
- w grupie  $>24.5\text{mm}$ :  $2.53 \pm 0,84$ ;
- w grupie kontrolnej:  $2.90 \pm 1.05$ .

Ta sama wartość mierzona na aparacie IOLMaster700 wynosiła:

- w grupie  $<22\text{mm}$ :  $3.18 \pm 1.15$ ;
- w grupie  $>24.5\text{mm}$ :  $2.57 \pm 0,96$ ;
- w grupie kontrolnej:  $3.02 \pm 1.08$ .

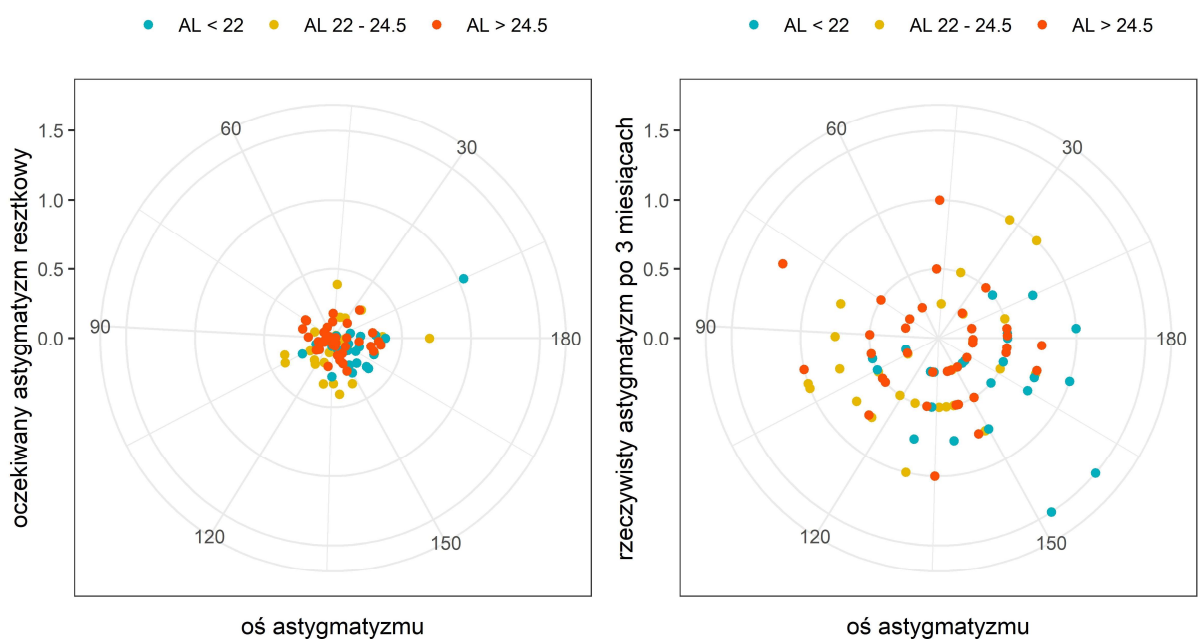
Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy pomiędzy pomiarami keratometrii wykonywanymi na obu aparatach w żadnym z punktów czasowych ( $p > 0,05$ ).

Istotną różnicę ( $p < 0,05$ ) wartości mocy astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki przed- i po zabiegu wykazały wszystkie grupy biorące udział w badaniu w pomiarach aparatem Pentacam; przed- i pozabiegowe pomiary wartości mocy astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki przeprowadzone za pomocą aparatu IOLMaster700 nie wykazały istotności statystycznej jedynie w grupie  $< 22\text{mm}$ , w pozostałych grupach również wykazały istotność statystyczną.

#### 4.28. Rozbieżność pomiędzy spodziewanym a rzeczywistym astygmatyzmem resztkowym.

Średni spodziewany astygmatyzm resztkowy wynosił odpowiednio: w grupie kontrolnej  $0.19 \pm 0.16$ , w grupie  $< 22\text{mm}$ -  $0.21 \pm 0.19$  oraz w grupie  $> 24.5\text{mm}$ -  $0.15 \pm 0.1.0$ .

Między grupami nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w rozbieżności między astygmatyzmem spodziewanym a rzeczywistym astygmatyzmem pooperacyjnym ( $p < 0,05$ ).



Ryc.31. Analiza wektorowa astygmatyzmu resztkowego spodziewanego i rzeczywistego

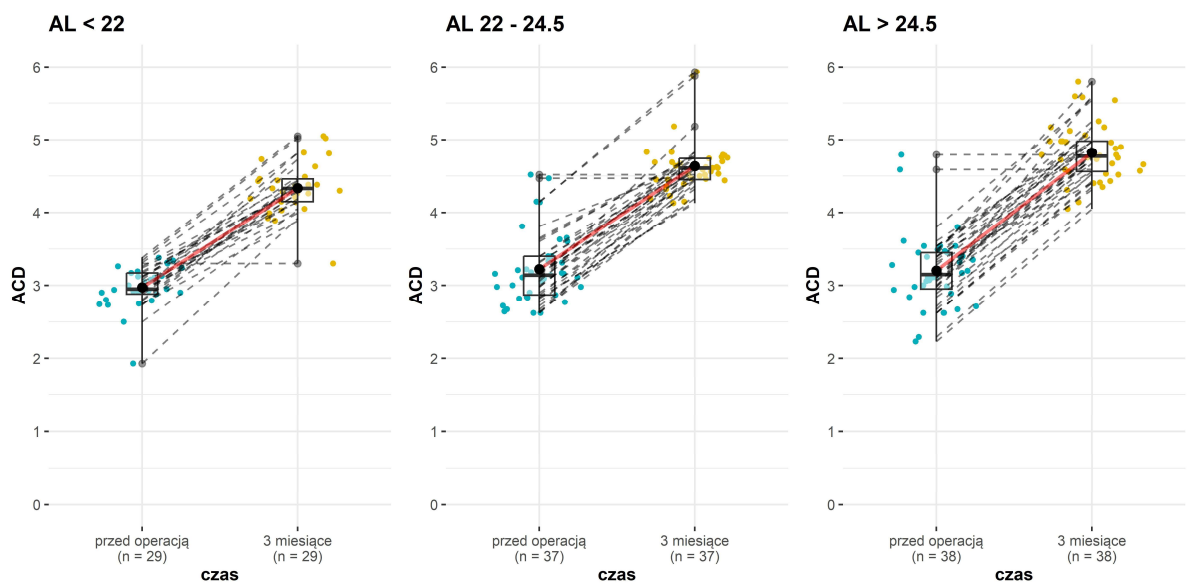
#### 4.29. Zmiana głębokości komory przedniej (ACD) przed i po zabiegu w 3 grupach

Średnia przedoperacyjna głębokość komory przedniej wynosiła odpowiednio:

- w grupie <22mm:  $2.97 \pm 0,29$  (zakres:1.93-3.38);
- w grupie >24.5mm:  $3.20 \pm 0,51$  (zakres: 2.23-4.79);
- w grupie kontrolnej:  $3.22 \pm 0,49$  (zakres:2.62-4.52 ).

Średnia pooperacyjna głębokość komory przedniej wynosiła odpowiednio:

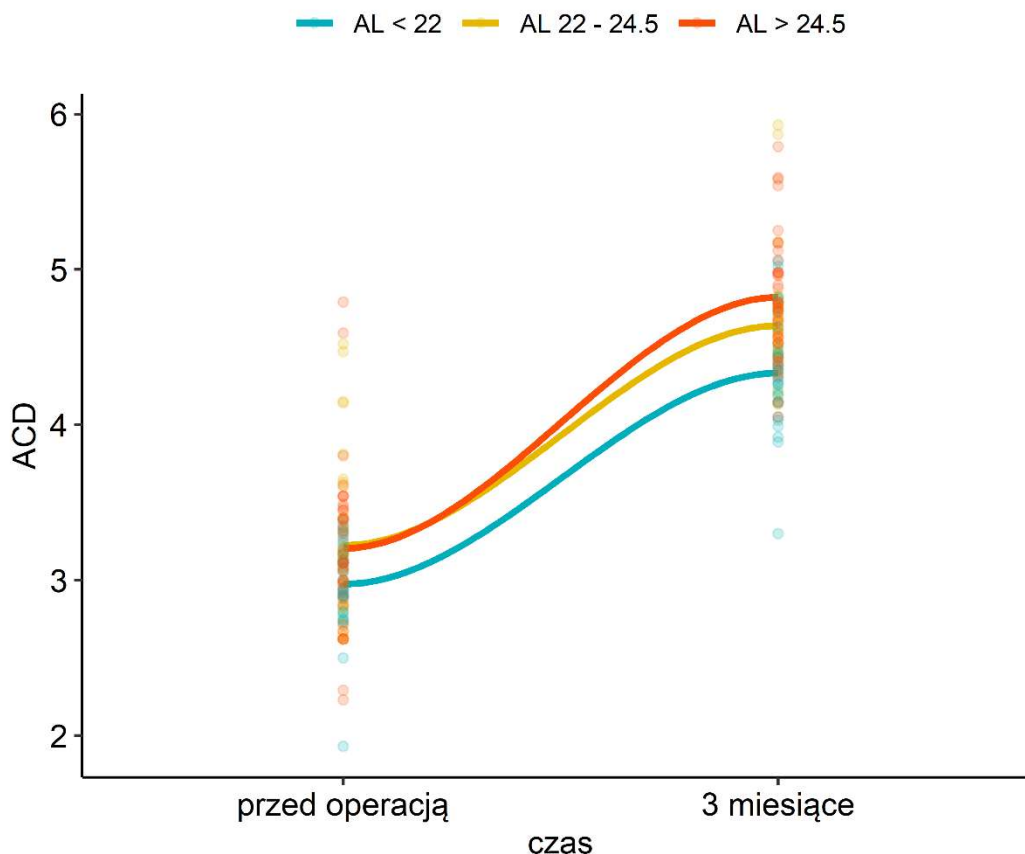
- w grupie <22mm:  $4.33 \pm 0.36$  (zakres:3.30-5.05);
- w grupie >24.5mm:  $4.82 \pm 0.40$  (zakres:4.05-5.79);
- w grupie kontrolnej:  $4.64 \pm 0.37$  (zakres: 4.13-5.93).



Ryc.32. Różnica głębokości komory przedniej (w milimetrach) przed i po zabiegu usunięcia zaćmy

Wszystkie trzy grupy wykazują istotny statystycznie wzrost głębokości komory przedniej po operacji. Porównując te grupy, grupa <22mm wykazała niższe wartości przyrostu głębokości komory przedniej po zabiegu od pozostałych grup (nie jest to jednak różnica istotna statystycznie).





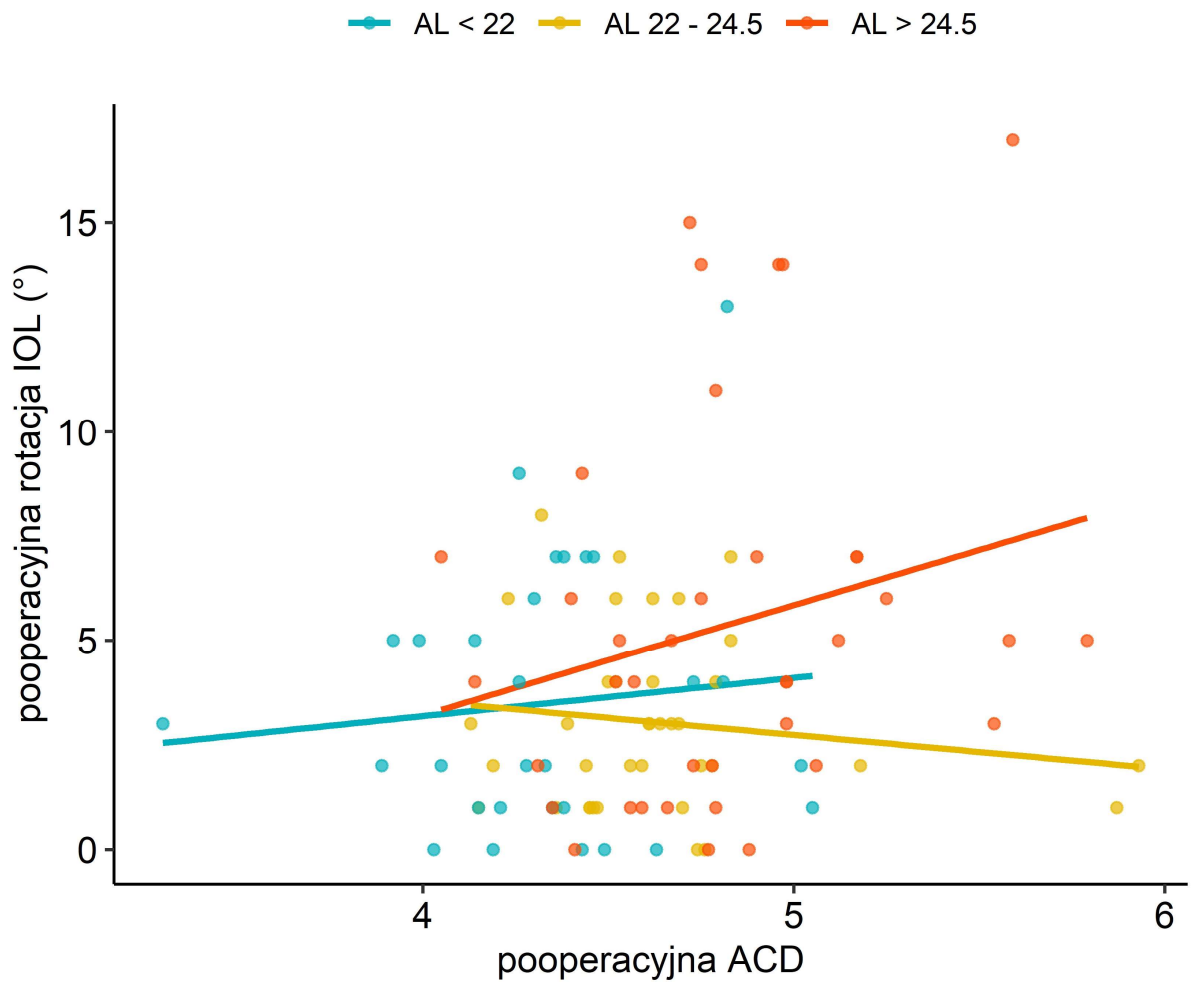
Ryc.33. Porównanie różnicy głębokości ACD we wszystkich grupach przed i po zabiegu

Po zabiegu wszystkie grupy są statystycznie różne ( $p < 0,05$ ) – największą głębokość komory przedniej ma grupa  $>24.5\text{mm}$ , średnią – grupa kontrolna, najmniejszą grupa  $<22\text{mm}$  (wyniki spójne zarówno w analizie ANOVA jak i modeli mieszanych).

Różnica głębokości komory przedniej, zarówno przed jak i po zabiegu, jest istotnie większa między grupą  $<22\text{mm}$  a grupą kontrolną w porównaniu do różnicy między grupą  $>22.4\text{mm}$  a kontrolną.

#### 4.30. Wpływ głębokości komory przedniej na pooperacyjną rotację IOL

Pooperacyjna głębokość komory przedniej nie wykazała istotnego wpływu na pooperacyjną rotację soczewki (brak istotnej statystycznie różnicy).

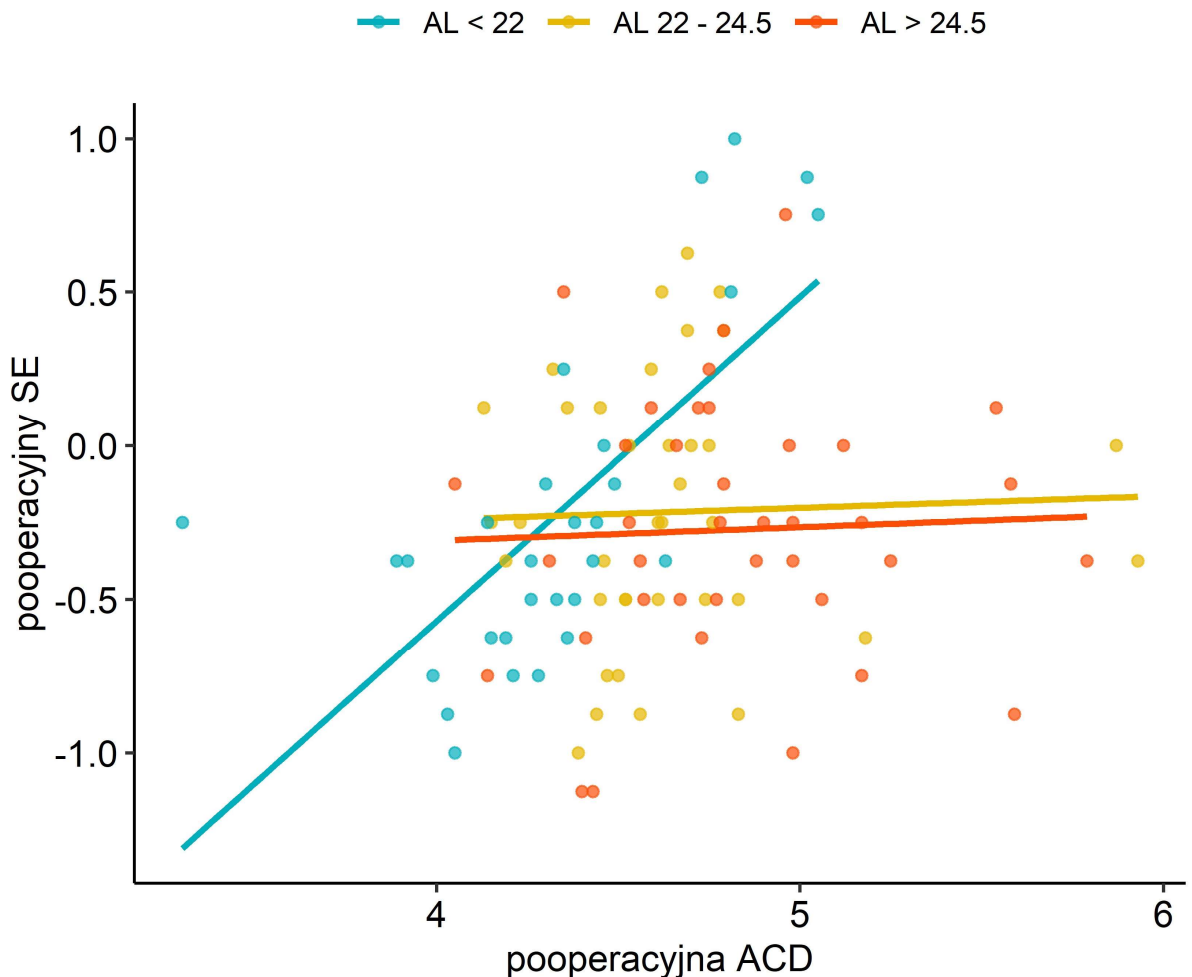


Ryc.34. Wykres zależności rotacji pooperacyjnej od pooperacyjnej głębokości ACD we wszystkich grupach

#### 4.31. Wpływ głębokości komory przedniej na pooperacyjny wynik refrakcyjny

Istotny statystycznie wpływ przedoperacyjnej głębokości komory przedniej na wynik refrakcyjny (ekwiwalent sferyczny) wykazano w grupie >24.5mm. W grupie <22mm wartość wyniosła 0,016 (przedział ufności 0,11-0,58), a zatem widoczna jest również taka tendencja, aczkolwiek nie udało się uzyskać istotności statystycznej.

Istotny statystycznie wpływ pooperacyjnej głębokości komory przedniej na wynik refrakcyjny (ekwiwalent sferyczny) wykazano w grupie <22mm. Im mniejsza była pooperacyjna głębokość komory przedniej tym bardziej SE ciążył ku wartościom ujemnym, im była ona wyższa- ku dodatnim. Wartość SE w okolicy zera uzyskiwały oczy z pooperacyjną głębokością komory przedniej 4.4mm.



Ryc.35. Wykres zależności SE od pooperacyjnej głębokości ACD we wszystkich grupach

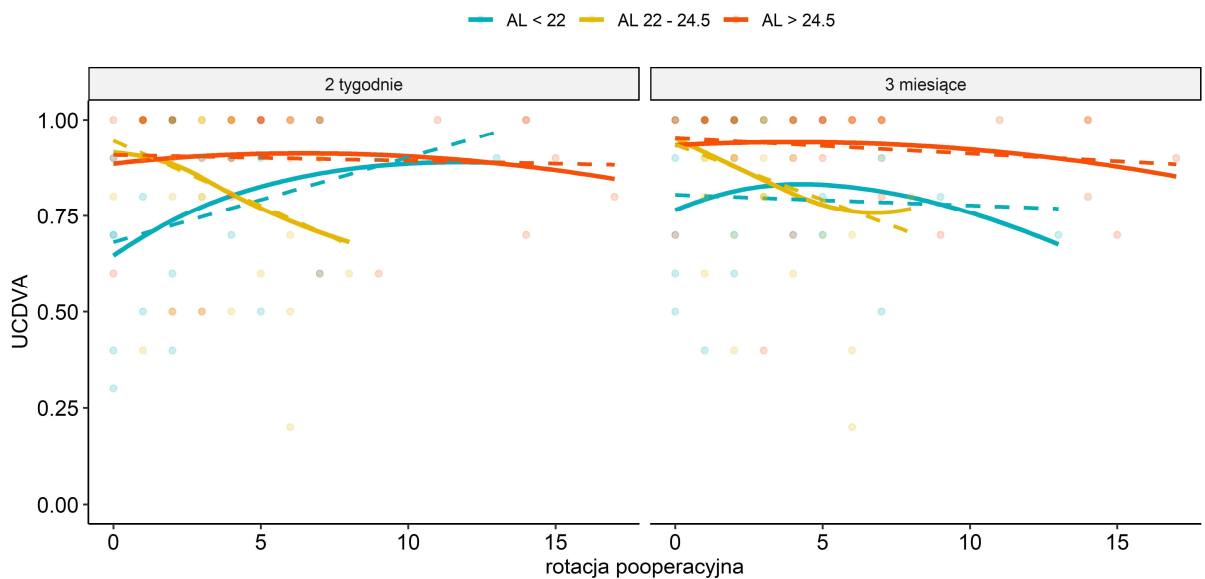
#### 4.32. Wpływ rodzaju astygmatyzmu na kierunek pooperacyjnej rotacji IOL

W całej badanej próbie astygmatyzm WTR występował u 66.3% pacjentów, skośny u 25.0% i ATR u 8.7%.

Rodzaj astygmatyzmu nie wykazał istotnego statystycznie wpływu na pooperacyjny kierunek rotacji pooperacyjnej sztucznej soczewki ( $p>0,05$ ).

#### 4.33. Wpływ pooperacyjnej rotacji soczewki na UCVA

Nie wykazano istotnego statystycznie wpływu rotacji pooperacyjnej soczewki torycznej na pooperacyjną nieskorygowaną ostrość wzroku.



Ryc.36. Zależność UCVA od rotacji pooperacyjnej we wszystkich grupach

#### 4.34. Zmiana mocy astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki po zabiegu usunięcia zaćmy w zależności od rodzaju astygmatyzmu

Średnia moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki przed zabiegiem wynosiła: dla astygmatyzmu WTR  $-0.68 \pm 0.20$  D (zakres od  $-0.3$  do  $-1.20$  D), ATR  $-0.16 \pm 0.09$  D (zakres od  $-0.00$  do  $-0.30$  D), skośnego  $-0.54 \pm 0.12$  D (zakres od  $-0.3$  do  $-0.7$  D).

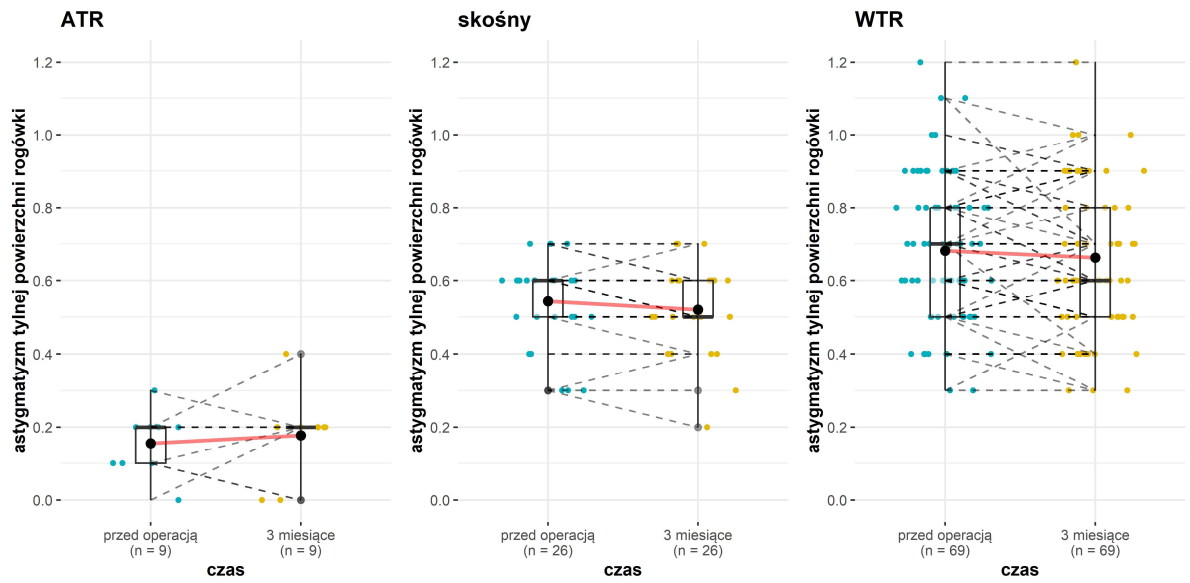
Średnia moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki po zabiegu wynosiła: dla astygmatyzmu WTR  $-0.66 \pm 0.20$  D (zakres od  $-0.3$  do  $-1.2$  D), ATR  $-0.18 \pm 0.12$  D (zakres od  $-0.0$  do  $-0.4$  D), skośnego  $-0.52 \pm 0.12$  D (zakres od  $-0.2$  do  $-0.7$  D).

Przedoperacyjny astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki miał wartość  $< 0.25$ D lub mniejszą u 0% oczu w grupie WTR, u 88.9% oczu w grupie ATR, u 0% oczu w przypadku astygmatyzmu skośnego, przekroczył 0.5 D w 72.4% oczu w grupie WTR, u 0% oczu w grupie ATR, u 57.7% oczu z astygmatyzmem skośnym.

Pooperacyjny astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki miał wartość  $< 0.25$ D lub mniejszą u 0% oczu w grupie WTR, u 88.9% oczu w grupie ATR, u 3.8% oczu z astygmatyzmem skośnym, przekroczył 0.5 D w 69.5% oczu w grupie WTR, u 0% oczu w grupie ATR, u 42.3% oczu z astygmatyzmem skośnym.

Zaobserwowano statystycznie istotne różnice pomiędzy grupami rodzaju astygmatyzmu niezależnie od punktu czasowego. Brak istotnej statystycznie zmiany wartości astygmatyzmu tylnej powierzchni po zabiegu. Brak istotnej interakcji oznacza, że istotna różnica pomiędzy grupami występuje zarówno przed jak i po zabiegu.

Wszystkie trzy grupy różnią się istotnie wartością mocy astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki. Wykres poniżej pokazuje, że najwyższe moce występują w astygmatyzmie WTR, średnie w skośnym, najniższe w ATR.



Ryc.37. Zmiana mocy astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki po zabiegu w astygmatyzmie ATR, skośnym i WTR

#### 4.35. Ankieta satysfakcji pacjenta

W ankiecie satysfakcji, którą przeprowadziłam z pacjentami biorącymi udział w badaniu po ustabilizowaniu się refrakcji czyli po 3 miesiącach od zabiegu, respondenci podali:

1. zadowolenie z ostrości wzroku na odległość po zabiegu:

-57.3%-niezmiernie zadowolony;

-38.7%-bardzo zadowolony;

-4%- całkiem zadowolony

-0%- umiarkowanie zadowolony oraz niezadowolony.

2. częstotliwość stosowania korekcji okularowej do dali:

-80%- nigdy;

-13.3%-czasami;

-6.6%-pół na pół

-0%-zwykle, zawsze.

3. występowanie:

a. dysfotopsji typu olśnienie, aureola, rozbłyśki

Dysfotopsje nie występowały nigdy u 86.7% pacjentów, sporadycznie u 13.3%. U nikogo nie występowały całkiem często ani bardzo często.

b. niepożądanych zjawisk wzrokowych typu zamazane widzenie lub podwójne obrazy

Występowanie zamazanego widzenia i/lub podwójnych obrazów podało: 78.6% -nigdy, 21.3% -sporadycznie, 1.3%- całkiem często.

	<i>niezmiernie zadowolony</i>	<i>bardzo zadowolony</i>	<i>całkiem zadowolony</i>	<i>umiarkowanie zadowolony</i>	<i>niezadowolony</i>
<i>&gt;24.5mm</i>	15 (57.7%)	11 (42.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>&lt;22mm</i>	11 (52.4%)	8 (38.1%)	2 (9.5%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>kontrola</i>	17 (60.7%)	10 (35.7%)	1 (4.6%)	0 (0%)	0 (0%)

Test chi2 p = 0.56 co oznacza brak istotnej różnicy pomiędzy grupami w częstości zadowolenia.

<i>okulary</i>	<i>nigdy</i>	<i>sporadycznie</i>	<i>pół na pół</i>	<i>zwykle</i>	<i>zawsze</i>
<i>&gt;24.5mm</i>	23 (88.5%)	3 (11.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>&lt;22mm</i>	17 (81.0%)	1 (4.8%)	3 (14.3%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>kontrola</i>	20 (71.5%)	6 (21.4%)	2 (7.1%)	0 (0%)	0 (0%)

Test chi2 p = 0.16 co oznacza brak istotnej różnicy pomiędzy grupami w częstości noszenia okularów.

<i>dysfotopsje</i>	<i>nigdy</i>	<i>sporadycznie</i>	<i>często</i>	<i>bardzo często</i>	<i>zawsze</i>
<i>&gt;24.5mm</i>	21 (80.8%)	5 (19.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>&lt;22mm</i>	19 (90.5%)	2 (9.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>kontrola</i>	25 (89.3%)	3 (10.7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Test chi2 p = 0.55 co oznacza brak istotnej różnicy pomiędzy grupami w częstości rozbłyków.

<i>Podwójne widzenie</i>	<i>nigdy</i>	<i>sporadycznie</i>	<i>często</i>	<i>bardzo często</i>	<i>zawsze</i>
<i>&gt;24.5mm</i>	19 (73.1%)	7 (26.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>&lt;22mm</i>	18 (81.8%)	3 (13.6%)	1 (4.5%)	0 (0%)	0 (0%)
<i>kontrola</i>	22 (78.6%)	6 (21.4%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Test chi2 p = 0.47 co oznacza brak istotnej różnicy pomiędzy grupami w częstości podwójnego widzenia.

*Tabela 8. Wyniki ankiety satysfakcji pacjentów po zabiegu z podziałem na grupy badane*

Najwyższy poziom zadowolenia oraz niezależności od okularów wykazywali pacjenci z grupy kontrolnej oraz grupy o długości gałki ocznej powyżej 24.5mm.



## 5 Dyskusja

Kiedy anatomia gałki ocznej różni się od standardowej rośnie ryzyko błędu, który może pojawić się na wszystkich etapach procesu wymiany soczewki. W oczach krótkich i długich refrakcja pooperacyjna nawet 50% pacjentów nie znajduje się w zakładanym zakresie  $\pm 0.5D$  (117). Głównym założeniem przedstawionego badania była analiza wpływu długości gałki ocznej na obiektywny i subiektywny efekt pooperacyjny uzyskany u pacjentów po usunięciu zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej.

Sądzę, że nadreprezentację kobiet w badaniu należy tłumaczyć ich większym odsetkiem w populacji polskiej w tym przedziale wiekowym, a także wyższą ich zapadalnością na zaćmę (118).

### 5.1. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na pooperacyjną stabilność soczewki

Do ważnych przyczyn nieosiągnięcia zamierzonego efektu refrakcyjnego, a tym samym optymalnej ostrości wzroku, zalicza się rotacja pooperacyjna. Za wartość graniczną rotacji, powyżej której zalecana jest interwencja chirurgiczna, uznaje się  $10^\circ$  (119). Czynniki wpływające na stabilność soczewki wewnątrzgałkowej to m.in. materiał i kształt soczewki, średnica haptów, rozmiar kapsulorekсы (120)- te czynniki w przedstawionym badaniu były niezmiennie, używałam soczewek jednej firmy, kapsuloreksa miała ten sam, zaprogramowany przed zabiegiem i sterowany optycznie w czasie zabiegu rozmiar 4.5-5.0mm. Zabiegi wykonywał jeden chirurg (autor) przez cięcie 2.2mm z dwoma cięciami bocznymi 1.2mm. W kalkulacji mocy wszczepu uwzględniałam uprzednio wyliczoną, charakterystyczną dla chirurga, wartość tzw. astygmatyzmu indukowanego chirurgicznie (SIA). Czynnikiem zmiennym były warunki anatomiczne pacjentów- m.in. długość gałki ocznej, głębokość komory przedniej oraz charakter astygmatyzmu.

W przedstawionym badaniu grupa  $>24.5\text{mm}$  wykazała istotną statystycznie różnicę rotacji pooperacyjnej w porównaniu z grupą kontrolną, co pokrywa się z badaniami przeprowadzonymi przez Shah (120). Średnia rotacja w tej grupie wyniosła  $5.37^\circ \pm 4.52^\circ$ .

Poszukując możliwości korekty ustawienia soczewki podczas zabiegu o zakładaną rotację pooperacyjną zbadano kierunek rotacji w każdej z grup. Grupa  $>24.5\text{mm}$  wykazywała większą tendencję do rotacji przeciwnej do ruchu wskazówek zegara (57%), w

przeciwieństwie do pozostałych dwóch grup, u których częściej dochodziło do rotacji zgodnej z ruchem wskazówek zegara, jednakże nie była to różnica istotna statystycznie.

Niezależnie od kierunku rotacji pooperacyjnej IOL (CWR, CCWR) grupa >24.5mm wykazywała największe wartości rotacji, zaś grupa kontrolna najmniejsze.

Mimo wykazanego podwyższonego ryzyka rotacji pooperacyjnej u pacjentów o długiej gałce ocznej, osiągnięte efekty refrakcyjne oraz pooperacyjna ostrość wzroku nie odbiegały znacząco od innych grup. Fakt ten, jak również subiektywne zadowolenie z wyników operacji i zyskanie niezależności od okularów do dali, pozwala sądzić, że wszczepianie soczewek torycznych w tej grupie pacjentów jest korzystne.

Pomiędzy długością gałki ocznej a średnicą soczewki własnej istnieje korelacja dodatnia (121–123). Zatem biorąc pod uwagę, że IOL ma w długim oku większą niż przeciętnie przestrzeń, co sprzyja rotacji pooperacyjnej, oraz fakt, że do rotacji pooperacyjnej dochodzi najczęściej we wczesnym okresie pooperacyjnym (82), warto mieć na uwadze podczas zabiegu całkowite usunięcie wiskoelastiku z soczewki, rozważenie wszczepienia pierścienia napinającego torebkę soczewki (124) oraz poinstruowanie pacjenta o ograniczeniu wysiłku fizycznego przez co najmniej miesiąc od interwencji chirurgicznej. W tej grupie pacjentów można również rozważyć wszczepienie soczewki torycznej o większej średnicy (aktualnie dostępne modele mają średnicę 7.5-13.0 mm), tak aby wzrosła powierzchnia kontaktu między soczewką a torebką powodując większy opór dla rotacji (125). Istnieją też dwa rodzaje haptik, jednakże autorzy nie są zgodni, które z nich zapewniają większą stabilność rotacyjną (77). Badanie Patela i in. potwierdziły częstsze występowanie rotacji w przypadku haptik w kształcie pętli („loop haptic”), inne nie wykazały istotnej różnicy (126).

## **5.2. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na refrakcję pooperacyjną**

Zgodnie z zaleceniami aktualnej literatury (127,128) zakładałam uzyskanie refrakcji pooperacyjnej poniżej 0.5D zarówno w sferze, jak i w cylindrze oraz ekwiwalencie sferycznym. W grupie <22mm sferyczną komponentę refrakcji poniżej 0.5D udało się uzyskać u 75.9%, w grupie >24,5mm- u 86.8%, natomiast w grupie kontrolnej u 81.1%. Uwagę jednak zwraca, że w obu grupach badanych doszło do pojedynczych

„niespodzianek refrakcyjnych” (rozumianych jako błąd refrakcji  $>1D$ ), których brak było w grupie kontrolnej.

Analiza uzyskanych przeze mnie wyników pozwoliła stwierdzić, iż wraz ze wzrostem długości gałki ocznej rosła wartość komponenty sferycznej wady resztkowej w grupie kontrolnej. W grupie pacjentów krótkowzrocznych zmiana ta była bliska istotności statystycznej. Odnotowane korelacje między długością gałki ocznej a pooperacyjną wadą resztkową sugerują, iż mimo dostępności coraz dokładniejszej aparatury i wzrostu wiedzy, pacjenci z długą gałką oczną wciąż są bardziej narażeni na rozminięcie się z założonym celem refrakcyjnym.

W przedstawionych badaniach przedoperacyjna cylindryczna komponenta refrakcji była istotnie różna od pooperacyjnej zarówno po 2 tygodniach, jak i po 3 miesiącach we wszystkich grupach. Średni astygmatyzm pooperacyjny w opisywanym badaniu wynosił  $0.52 \pm 0.32$  (w grupie  $<22mm$   $-0.58 \pm 0.37$ , w grupie  $>24.5mm$   $-0.48 \pm 0.27$ , w grupie kontrolnej:  $-0.50 \pm 0.31$ ). W grupie  $<22mm$  pooperacyjną cylindryczną komponentę wady refrakcji  $\leq 0.5D$  udało się uzyskać u 62.0%, w grupie  $>24.5mm$  - u 79.0%, natomiast w grupie kontrolnej - u 67.5%. Ponownie do „niespodzianek” refrakcyjnych doszło jedynie w grupach badanych. Wyniki te potwierdzają zasadność wszczepiania soczewek torycznych u pacjentów z każdą długością gałki ocznej. Nie wykazano istotnego statystycznie wpływu długości gałki ocznej na resztkowy astygmatyzm pooperacyjny ( $p > 0.05$ ).

Porównując wszystkie grupy pod kątem astygmatyzmu resztkowego jedynie grupa  $<22mm$  po 2 tygodniach od zabiegu była istotnie różna od grupy kontrolnej. Po 3 miesiącach od zabiegu nie wykazywała już istotności statystycznej. Widoczna jest tendencja, pokrywająca się z doświadczeniami własnymi badacza, ale odniesień do której nie udało mi się znaleźć w literaturze, że refrakcja po 2 tygodniach nie jest jeszcze tą ostateczną i po 3 miesiącach jest ona bliższa założonej przedoperacyjnie. Być może wiąże się to z pozabiegowym obrzękiem rogówki, który zwykle ustępuje po kilku tygodniach, a na wystąpienie którego bardziej narażeni są pacjenci o płytkiej komorze przedniej, z jaką zwykle mamy do czynienia w przypadku krótkich gałek ocznych (129). Uważam, że warto w tego typu sytuacji wykonać zdjęcie oka w mydriazie i za pomocą

aplikacji Goniotrans sprawdzić, czy soczewka faktycznie uległa rotacji, czy też astygmatyzm resztkowy jest kwestią reakcji rogówki na przebyty zabieg.

Średni pooperacyjny ekwiwalent sferyczny w moim badaniu wynosił w grupie <22mm –  $-0.22 \pm 0.43$  (zakres -1.0, 0.63), w grupie >24.5mm  $-0.27 \pm 0.42$  (zakres -1.13, 0.75), w grupie kontrolnej:  $-0.22 \pm 0.43$  (zakres -1.00, 0.63). W grupie <22mm pooperacyjny ekwiwalent sferyczny  $\leq 0.5D$  udało się uzyskać u 44.8%, w grupie >24.5mm- u 63.2%, natomiast w grupie kontrolnej - u 56.8%.

W grupie <22mm zaistniała istotna statystycznie różnica pomiędzy refrakcją pooperacyjną (SE) po 2 tygodniach a 3 miesiącach. Może to sugerować, że w grupie tej refrakcja pooperacyjna stabilizuje się wolniej, a efekt refrakcyjny po ustabilizowaniu się refrakcji jest bliższy założonemu, niż ten po 2 tygodniach od zabiegu.

W analizie nie wykazano różnic statystycznych między grupami odnośnie średniej przedoperacyjnej nieskorygowanej ostrości wzroku do dali (UCDVA). Wynosiła ona <0,2 w każdej z grup, co ma niewątpliwie związek z występującą u wszystkich pacjentów zaćmą. Wszystkie grupy odniosły znaczącą korzyść z zabiegu. UCDVA po zabiegu wynosiła średnio: w grupie kontrolnej  $0.85 \pm 0.20$ , w grupie <22mm-  $0.80 \pm 0.20$  oraz w grupie >24.5mm-  $0.93 \pm 0.14$ . Grupa <22mm uzyskała istotnie rzadziej od grupy >24.5mm najlepszą skorygowaną ostrość wzroku >0,9. Wynik ten jest o tyle zaskakujący, iż to właśnie grupa >24.5mm wykazała największy pooperacyjny ekwiwalent sferyczny oraz rotację pooperacyjną. Jednakże pacjenci nadwzroczni, zmuszeni do używania okularów do dali i bliży, po zabiegu usunięcia zaćmy są zwykle zadowoleni z efektu.

Średni spodziewany astygmatyzm resztkowy wynosił odpowiednio: w grupie <22mm-  $0.21 \pm 0.19$  oraz w grupie >24.5mm-  $0.15 \pm 0.1.0$ , w grupie kontrolnej  $0.19 \pm 0.16$ . Między grupami nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w rozbieżności między astygmatyzmem spodziewanym a rzeczywistym astygmatyzmem pooperacyjnym ( $p < 0,05$ ), aczkolwiek we wszystkich grupach rzeczywisty astygmatyzm pooperacyjny był większy od spodziewanego.

Pacjenci z grupy >24.5mm, mimo największej rotacji pooperacyjnej, osiągnęli nieco lepszą od pozostałych grup nieskorygowaną ostrość wzroku po zabiegu oraz podawali procentowo wyższy poziom zadowolenia z wyniku zabiegu oraz niezależności od korekcji

okularowej do dali (nie są to różnice istotne statystyczne). Można próbować tłumaczyć tę tendencję faktem, iż pacjenci ci przed zabiegiem w swoim codziennym funkcjonowaniu byli absolutnie uzależnieni od okularów.

### 5.3. Omówienie wpływu długości gałki ocznej na głębokość komory przedniej

Wszystkie trzy grupy wykazały istotny statystycznie wzrost głębokości komory przedniej po operacji. Porównując te grupy, grupa <22mm ma niższe wartości przyrostu głębokości (nie jest to jednak różnica istotna statystycznie).

Po zabiegu głębokość komory przedniej we wszystkich grupach była statystycznie różna ( $p < 0,05$ ) – największą głębokość komory przedniej wykazano w grupie >24.5mm, średnią – w grupie kontrolnej, najmniejszą -w grupie <22mm.

W omawianym badaniu pooperacyjna głębokość komory przedniej nie wykazała istotnego wpływu na pooperacyjną rotację soczewki. Natomiast w grupie >24.5mm wykazano istotny wpływ przedoperacyjnej głębokości komory przedniej na wynik refrakcyjny (wyrażany ekwiwalentem sferycznym). Również w grupie <22mm zaznaczona była taka tendencja. Można te dane interpretować w odniesieniu do wpływu efektywnej pozycji soczewki (ELP) na refrakcję pooperacyjną. Wiadome jest, że ELP zależy od wielkości przedniego odcinka oka (130). ELP jest jedyną wartością, której nie da się zmierzyć przed zabiegiem; szacuje się ją na podstawie m.in. przedoperacyjnej głębokości komory przedniej. Badania nad przyczynami rozminięcia się z założonym celem refrakcyjnym podczas wszczepiania soczewek wykazują znaczny wpływ ELP. Olsen ocenił, że ELP była przyczyną 42% błędów (131), w innym badaniu wskazano ją jako powód 35% błędów (132). Aby uzyskać założony efekt refrakcyjny wraz ze wzrostem ELP powinna rosnąć moc sferyczna i cylindryczna soczewki wewnątrzgałkowej. Wzory regresyjne najnowszej generacji biorą pod uwagę przedoperacyjną głębokość komory przedniej i na jej podstawie próbują przewidzieć, w jakim dokładnie miejscu znajdzie się sztuczna soczewka po zabiegu (18). W oczach o niestandardowej anatomii efekty są mniej przewidywalne (33).

#### 5.4. Omówienie wpływu rodzaju astygmatyzmu na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki

Oś cylindra zmienia się z wiekiem, zmiana ta zdecydowanie dominuje na przedniej powierzchni rogówki. W wieku dorosłym przeważa astygmatyzm zgodny z regułą, który z upływem czasu ma tendencję przesuwania się w kierunku astygmatyzmu przeciwnego regule. Wartość i oś astygmatyzmu tylnej powierzchni nie ma tendencji do zmiany z wiekiem (63). Zatem stosunek astygmatyzmu przedniej powierzchni do astygmatyzmu tylnej powierzchni nie jest stały w ciągu życia. Astygmatyzm tylnej powierzchni, mimo wartości niższych niż astygmatyzm powierzchni przedniej, ma istotny wpływ na powstanie błędu refrakcji po wszczepieniu soczewek torycznych (133).

W przedstawionej pracy średnia wartość astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki wyniosła -0.6D. Shao i wsp. w badaniu na 3769 oczach uzyskał średnią wartość PCA wysokości -0,33D; u 14.27% przekraczał on 0.5D (134). Wyższa średnia wartość astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki w omawianym badaniu może wynikać ze znacznej przewagi liczebnej oczu z astygmatyzmem zgodnym z regułą w badanych grupach.

Uzyskane dane pokazują, że astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki może osiągać wartości, które istotnie wpływają na ostrość wzroku. Podobne wyniki uzyskano w badaniu Sigireddi (127). W przedstawionym badaniu astygmatyzm tylnej powierzchni miał istotnie większe wartości w oczach z astygmatyzmem zgodnym z regułą (w grupie kontrolnej: 0.75-1.0D u 40% pacjentów, u 4% >1.0D; w całej populacji: 0.75-1.0D u 33.3%, u 4.3% >1.0D), mniejsze w astygmatyzmie skośnym, a najmniejsze w przeciwnym regule, co jest zgodne z innymi doniesieniami (135). Z tego powodu, szczególnie kiedy ma się do czynienia z pacjentem z astygmatyzmem zgodnym z regułą, nie można pozwolić sobie na pominięcie w obliczeniach astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki. Pamiętać należy, że tylna powierzchnia rogówki działa jak soczewka wklęsła, co oznacza, że astygmatyzm tylnej powierzchni zmniejsza astygmatyzm WTR, a zwiększa ATR (136). Warto również zwrócić uwagę na ryzyko ujęcia PCA podwójnie w obliczeniach soczewki w internetowych kalkulatorach soczewek torycznych astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki jest szacowany i uwzględniany, a zatem do kalkulatora należy wprowadzić wartości keratometrii przedniej powierzchni rogówki, a nie TCA.

W pracy stwierdzono, że astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki nie zmienia się istotnie po zabiegu usunięcia zaćmy w żadnej z badanych grup, a zatem nie przyczynia się on w znaczącej mierze do astygmatyzmu indukowanego chirurgicznie. Wynik ten jest zgodny z rezultatami innych badań (65), jednakże w literaturze nie ma pełnej zgodności w kwestii wpływu zabiegu usunięcia zaćmy na astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki. Niektórzy autorzy donoszą o średniej zmianie astygmatyzmu tylnej powierzchni po fakoemulsyfikacji o  $0.32 \pm 0.29$  D (63).

### **5.5. Omówienie badania zgodności przed- i pooperacyjnych pomiarów keratometrii uzyskanych za pomocą aparatów IOLMaster700 oraz Pentacam.**

Precyzyjna ocena całkowitego astygmatyzmu rogówkowego jest kluczowa dla pacjentów, u których postawiono diagnozę współwystępowania zaćmy z astygmatyzmem.

Keratometrię można badać za pomocą kilku aparatów, które różnią się m.in. metodą badania, ilością analizowanych punktów na rogówce, uwzględnianiem w analizie astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.

W pracy stwierdzono, że wyniki keratometrii na potrzeby kalkulacji mocy IOL torycznej zmierzonej aparatem IOLMaster700 oraz aparatem Pentacam są porównywalne. Istotną statystycznie różnicę w pomiarach między oboma aparatami wykazano jedynie w przypadku przedoperacyjnych pomiarów K1 (południk rogówki o największym promieniu) dla wszystkich badanych grup zbiorczo ( $p < 0,001$ ). Wynik ten wspiera inne doniesienia na temat porównywalności wyników badań keratometrii obu aparatów, mimo że działają w oparciu o zupełnie inne metody oraz rejony pomiarów (137–140).

Część autorów donosi o zgodności pomiarów wykonanych za pomocą aparatu IOLMaster700 oraz aparatu Pentacam takiej, że nie ma ona wpływu na obliczenia mocy IOL (141). Inni odnotowują wpływ na kalkulacje, mimo wysokiej zgodności wyników (142). W badaniu na 30 oczach ze stożkiem rogówki wykazano, że aparat IOLMaster700 wykazuje znacząco wyższe wartości keratometrii (143), jednakże należy tu mieć na uwadze, że w przypadku ektazji rogówka jest bardzo nieregularna. W przedstawionym badaniu wszystkie rogówki miały astygmatyzm regularny. Zalecane jest, aby

porównywać wyniki z obu aparatów i oceniać ich zgodność, ale do obliczania mocy soczewek korzystać z danych z jednego urządzenia.

Przy tak dokładnych obliczeniach nie zupełnie bez znaczenia jest również istnienie błędu pomiaru, który dla aparatu Pentacam został obliczony na 0.14D, dla aparatu IOLMaster700- 0.1D (144).

Wykazano istotną statystycznie różnicę wartości keratometrii mierzonej przed i po zabiegu na obu aparatach, co świadczy o powstaniu astygmatyzmu indukowanego chirurgicznie(SIA).

### **5.6. Omówienie subiektywnych korzyści odniesionych przez pacjentów**

Astygmatyzm i zaćma obniżają jakość życia (145). Usunięcie zaćmy poprawia funkcjonowanie wzrokowe oraz jakość życia pacjentów związaną ze stanem zdrowia oraz wzrokiem bezpośrednio po zabiegu oraz po upływie roku (146). Zabieg usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewek torycznych nie jest przyczyną większej ilości powikłań w porównaniu do standardowej procedury fakoemulsyfikacji (82). Udowodnione jest, że wszczepienie soczewek torycznych podnosi UCVA u pacjentów z astygmatyzmem (147). Koszt soczewki torycznej jest wyższy w porównaniu do odpowiedniej soczewki bez komponenty cylindrycznej, jednakże zapewnia pacjentowi lepszą jakość życia oraz niezależność od okularów do dali (148).

W ankiecie przeprowadzonej 3 miesiące po zabiegu z pacjentami, którym wszczepiono soczewki toryczne, 57.3% deklaroowało „bardzo wysoki poziom zadowolenia”, 38.7% „wysoki poziom zadowolenia”, żaden z pacjentów nie był „miernie zadowolony” ani niezadowolony. Całkowitą niezależność od okularów do dali zyskało 80% pacjentów. Po zabiegu żaden z pacjentów nie stosował korekcji okularowej do dali na stałe. Według subiektywnych opinii pacjentów zabieg usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej poprawia jakość życia niezależnie od grupy badanej.

### **5.6. Podsumowanie**

W czasie zabiegu usunięcia zaćmy, poza pozbyciem się zmętniałej soczewki, zyskujemy możliwość zmiany statusu refrakcyjnego pacjenta. Aktualnie sukces zabiegu mierzy się osiągnięciem zamierzonego efektu refrakcyjnego, a tym samym optymalnej ostrości



wzroku po zabiegu. Astygmatyzm resztkowy po usunięciu zaćmy jest istotną przyczyną braku osiągnięcia emmetropii (82). Astygmatyzm w oku afakijnym wynika w głównej mierze z astygmatyzmu rogówkowego (149). Wszczepienie soczewki torycznej podczas usunięcia zaćmy pozwala go skorygować i uzyskać niezależność od okularów. Efekt refrakcyjny po wszczepieniu soczewki torycznej zależy w głównej mierze od dokładnych pomiarów przedoperacyjnych (117), jak również od wyboru soczewki właściwej dla danego pacjenta oraz wszczepienia jej we właściwej pozycji. Ustawienie soczewki torycznej we właściwej osi jest kluczowe, jako że wiadomym jest, że rotacja o 3 stopnie od założonej osi powoduje 9.05% utraty efektu korekcji cylindrycznej (91).

Korygowanie astygmatyzmu soczewkami torycznymi ma wiele zalet: mogą one korygować wysokie wartości astygmatyzmu, raz skorygowany astygmatyzm nie nawraca, zabieg jest odwracalny, soczewki te nie wywierają wpływu na architekturę rogówki. Sama procedura fakoemulsyfikacji jest standardowa, proces wymaga 3 dodatkowych kroków: obliczenia i zamówienia soczewki z wyprzedzeniem, oznaczenia osi, rotacji soczewki w trakcie zabiegu, tak, aby znalazła się w oznaczonej uprzednio osi.

Wraz ze wzrostem wiedzy i postępem technologicznym w okulistyce uzyskiwane po usunięciu zaćmy wyniki refrakcyjne istotnie się poprawiają. Jeszcze w 2010 donoszono o średniej rotacji pooperacyjnej soczewki torycznej wynoszącej  $29.1 \pm 17.4$ . Aktualnie większości chirurgów udaje się w około 78% przypadków uzyskać wynik refrakcyjny  $\pm 0.5D$ . Warren Hill donosi o wyniku w tym zakresie u 91% pacjentów, jednakże przy założeniu, że przeprowadzający zabiegi chirurg był wysoko wyszkolony a przeważająca większość gałek ocznych długości 22.5-24.5mm, z których żadna przekraczała 21-29mm (23). W przypadku oczu o małej długości gałki ocznej nie udało się uzyskać zadowalającego efektu refrakcyjnego u większego niż 75% odsetka operowanych pacjentów (115).

Obecnie The Royal College of Ophthalmologists zaleca utrzymanie pooperacyjnego błędu refrakcji w zakresie  $\pm 1.0 D$  u 85% i  $\pm 0.5 D$  u 55%. Norrby ocenił, że najmniejszy osiągnany aktualnie dostępnymi metodami średni błąd bezwzględny refrakcji (MAE) wynosi 0.36-0.40D, przy czym pomiędzy 95 a 97% pacjentów powinno znaleźć się w przedziale poniżej 1.0D (34). W przedstawionym badaniu osiągnięto następujące wyniki: w grupie <22mm pooperacyjną cylindryczną komponentę wady refrakcji  $\leq 0.5D$  uzyskano

u 62.0%, w grupie >24.5mm- u 79.0%, natomiast w grupie kontrolnej - u 67.5%. Jednakże poprzeczka stawiana jest coraz wyżej- nowym zakładanym celem jest osiągnięcie MAE poniżej 0.5D u 90% pacjentów i 100% w zakresie 1.0D (150). Osiągnięcie refrakcji docelowej w postaci 0.00 D u 100% pacjentów wydaje się niemożliwe, jednakże dzięki zdobywaniu nowej wiedzy oraz dostępności coraz to nowocześniejszych urządzeń możliwa jest ciągła poprawa wyników, szczególnie u pacjentów o niestandardowych warunkach anatomicznych.

W dobie coraz dokładniejszych badań i pomiarów nie należy zapominać o jeszcze innym, niezależnym od lekarza czynniku: producenci soczewek są zobligowani do spełnienia standardów ISO 11979-2 (151), które, między innymi, definiują dopuszczalną tolerancję mocy produkowanych soczewek. I tak dla soczewek o mocy 0.0-15.0D ich prawdziwa moc musi się znajdować  $\pm 0.3D$  od deklarowanej, dla mocy 25.5-30.0D jest to  $\pm 0.5$ , ale powyżej 30.0D jest to już  $\pm 1.0D$ . Jest to dodatkowy czynnik, z powodu którego osoby o krótkiej gałce ocznej są bardziej narażone na wystąpienie pooperacyjnego błędu refrakcji.

Istotną zaletą przedstawionej pracy jest badanie pooperacyjnych parametrów oczu z uwzględnieniem ich podziału na trzy grupy w zależności od długości gałki ocznej. Z takim podejściem spotkałam się w jedynie jednej pracy (152). Za dyskusyjne można uznać zakwalifikowanie w niektórych przypadkach do badania obu oczu jednego pacjenta. Zastosowanie analizy modeli mieszanych, którą sprawdzano wyniki otrzymane za pomocą analizy ANOVA i post hoc miało na celu zweryfikować tę potencjalną zależność (153). Warto w tym miejscu nadmienić, że dobrą praktyką kliniczną jest korzystanie z efektów uzyskanych po operacji pierwszego oka danego pacjenta do planowania zabiegu drugiego oka. W badaniu przeprowadzonym na 250 pacjentach poddanych niejednoczasowej fakoemulsyfikacji obu oczu wykazano, że biorąc pod uwagę błąd refrakcji powstały przy operacji pierwszego oka i korygując go o 50% podczas planowania zabiegu drugiego osiąga się znaczącą poprawę refrakcji pooperacyjnej (przykładowo- jeśli pierwsze oko miało refrakcję pooperacyjną +1.0D, mimo planowanej emmetropii, dla drugiego oka należy wybrać soczewkę mającą dać refrakcję -0.5D ) (154).

Każdy pomiar jest wartościowy o tyle, o ile badający umie go zinterpretować i ocenić, czy jest on prawidłowy. Podczas zabiegu usunięcia zaćmy z wszczepieniem soczewki torycznej błąd na którymkolwiek etapie pomiarów, obliczeń oraz zabiegu skutkuje błędem w refrakcji pacjenta. Zakłada się, że okulista powinien umieć ocenić źródła problemów będących przyczyną rozminięcia się z zakładanym pooperacyjnym efektem refrakcyjnym, dołożyć starań, aby im zapobiegać oraz posiadać wiedzę i umiejętności, aby je naprawić. Stanowi to ważny aspekt przedstawionej dysertacji.

## 6. WNIOSKI

1. Wszczepienie soczewki torycznej podczas zabiegu usunięcia zaćmy przynosi dobry efekt refrakcyjny oraz pozwala na uzyskanie optymalnej ostrości wzroku do dali i niezależności od okularów u pacjentów z astygmatyzmem regularnym  $>1.5D$  również w przypadku skrajnych długości gałek ocznych.
2. Mimo wykazanego podwyższonego ryzyka rotacji pooperacyjnej u pacjentów o długiej gałce ocznej, osiągnięte efekty refrakcyjne oraz pooperacyjna ostrość wzroku nie różnią się znacząco od innych grup.
3. Odbiegające od przewidywanych wartości astygmatyzmu pooperacyjnego po 2 tygodniach od zabiegu, po 3 miesiącach istotnie zbliżają się do założonych przedoperacyjnie.
4. Wykazane zależności między długością gałki ocznej i pooperacyjną nieskorygowaną ostrością wzroku do dali wskazują na możliwość negatywnego wpływu małej długości gałki ocznej na pozabiegową funkcję narządu wzroku. W grupie o krótkiej gałce ocznej przedoperacyjna głębokość komory przedniej może również odgrywać istotną rolę w powstaniu pooperacyjnego błędu refrakcji.
5. Rodzaj astygmatyzmu wydaje się nie mieć wpływu na kierunek rotacji pooperacyjnej soczewki torycznej.
6. Uzyskane korelacje nie pozwalają uznać zabiegu usunięcia zaćmy z cięcia 2.2mm z dwoma cięciami bocznymi 1.2mm za czynnik wpływający na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.
7. Wyniki keratometrii przedniej powierzchni rogówki zmierzonej aparatami IOLMaster700 oraz Pentacam są porównywalne. Zabieg usunięcia zaćmy w istotnej mierze zmienia wartości keratometrii mierzonej na obu aparatach.

## 7. STRESZCZENIE

### **Wstęp:**

Przedoperacyjny astygmatyzm rogówkowy wynoszący ponad 1.5 D dotyczy 20% pacjentów operowanych z powodu zaćmy. Stanowi on istotną przyczynę nieosiągnięcia po zabiegu optymalnej ostrości wzroku. Soczewki toryczne korygują zarówno sferyczną, jak i cylindryczną wadę refrakcji, poprawiają nieskorygowaną ostrość wzroku i pozwalają uwolnić się od okularów do dali. Proces kwalifikacji pacjenta do wszczepienia soczewek torycznych wymaga od okulisty wykonania dodatkowych badań, przeanalizowania ich oraz zaplanowania zabiegu tak, aby uzyskać jak najlepszy wynik refrakcyjny. Uchybienie na którymkolwiek etapie tego procesu skutkuje błędem refrakcji. Niestandardowe warunki anatomiczne mogą stanowić wyzwanie prognostyczne i operacyjne, a tym samym zwiększać ryzyko pooperacyjnego błędu refrakcji.

### **Cele:**

Celem projektu była optymalizacja postępowania dotyczącego operacji zaćmy z zastosowaniem soczewki torycznej u pacjentów z niestandardową długością gałki ocznej, w tym:

1. Określenie wpływu skrajnych długości gałki ocznej na uzyskanie zamierzonego efektu refrakcyjnego podczas wszczepiania soczewek torycznych.
2. Analiza wpływu rodzaju astygmatyzmu na wielkość oraz kierunek pooperacyjnej rotacji soczewki torycznej.
3. Określenie wpływu zabiegu usunięcia zaćmy na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki oraz oddziaływania rodzaju astygmatyzmu na zaistniałą zmianę.
4. Ocena zgodności wyników keratometrii uzyskanych za pomocą dwóch aparatów: IOLMaster700 oraz Pentacam.

### **Metody:**

Badanie objęło 104 oczy 75 pacjentów poddanych zabiegowi usunięcia zaćmy z jednoczesnym wszczepieniem soczewki torycznej w Klinice Okulistyki 4 Wojskowego Szpitala Klinicznego w latach 2020-2023. Pacjenci podzieleni zostali na 3 grupy w zależności od długości gałki ocznej: 1. AL <22mm- oczy nadwzroczne, 2.AL >24.5mm- oczy krótkowzroczne, 3.AL-22-24.5mm- oczy normowzroczne, grupa kontrolna. Podstawowym warunkiem włączenia do badania było występowanie regularnego

astygmatyzmu rogówkowego  $>1.5D$  mierzonego na aparatach IOLMaster700 oraz Pentacam. Pacjenci kontrolowani byli po 2 tygodniach oraz po 3 miesiącach od zabiegu, po ustabilizowaniu się refrakcji. U wszystkich pacjentów przed- oraz po zabiegu wykonano autorefraktometrię, badanie nieskorygowanej i najlepszej skorygowanej ostrości wzroku do dali, biometrię optyczną z zastosowaniem aparatu IOLMaster700, topografię rogówki aparatem Pentacam. Obliczeń sztucznej soczewki dokonano za pomocą Alcon Toric Calculator wykorzystującego formułę Barretta. Wszyscy pacjenci przeszli niepowikłany zabieg usunięcia zaćmy przeprowadzony przez jednego chirurga, z cięciem 2.2mm w osi  $100^\circ$ , kapsuloreksą o średnicy 4.5-5mm oraz wszczepieniem soczewki AcrySof IQ Toric SN6ATx. Soczewki były ustawiane w założonej osi przy pomocy sterowania optycznego Z Align Zeiss Callisto. 3 miesiące po zabiegu wykonywano dodatkowo zdjęcie oka w mydriazie fundus kamerą. Oś wszczepionej soczewki odczytywano za pośrednictwem aplikacji Goniotrans.

Obliczenia wykonano przy pomocy języka programowania R (wersja 4.3, Vienna, Austria). Za poziom istotności przyjęto  $p < 0,05$ .

#### **Wyniki:**

Średnia pooperacyjna rotacja soczewki po 3 miesiącach od zabiegu wynosiła: w grupie  $<22mm$ :  $3.48^\circ \pm 3.2$ ; w grupie  $>24.5mm$ :  $5.37^\circ \pm 4.52$ ; w grupie kontrolnej:  $3.03^\circ \pm 2.10$ . Istotną statystycznie różnicę rotacji pooperacyjnej w odniesieniu do grupy kontrolnej wykazała grupa  $>24.5mm$  ( $p=0,012$ ).

Średnia komponenta cylindryczna wady refrakcji przedoperacyjnej wynosiła: w grupie kontrolnej:  $-3.45 \pm 1.75$ , w grupie  $<22mm$ :  $-3.17 \pm 1.00$ , w grupie  $>24.5mm$ :  $-3.7 \pm 1.61$ . Średnia komponenta cylindryczna wady refrakcji pooperacyjnej wynosiła: w grupie kontrolnej:  $-0.50 \pm 0.31$ , w grupie  $<22mm$ :  $-0.58 \pm 0.37$ , w grupie  $>24.5$ :  $-0.48 \pm 0.27$ . Różnica pomiędzy przed- i pooperacyjnymi pomiarami mocy cylindra była istotna statystycznie we wszystkich grupach. Tylko w grupach o skrajnej długości gałek ocznych doszło do „niespodzianek refrakcyjnych”.

Grupa  $<22mm$  istotnie rzadziej osiągnęła UCDVA powyżej 0.75 oraz powyżej 0.9.

Pooperacyjna głębokość komory przedniej nie wykazała istotnego wpływu na pooperacyjną rotację soczewki.

W całej badanej próbie astygmatyzm WTR występował u 66.3% pacjentów, skośny u 25.0% i ATR u 8.7%. Rodzaj astygmatyzmu nie wykazał istotnego statystycznie wpływu na kierunek rotacji pooperacyjnej sztucznej soczewki ( $p>0,05$ ).

Kierunek rotacji pooperacyjnej CWR odnotowano u: 48.3% pacjentów z grupy  $< 22\text{mm}$  (średnio  $4.36^\circ \pm 3.48^\circ$ ), 34.2% z grupy  $> 24.5\text{mm}$  (średnio  $4.69^\circ \pm 3.04^\circ$ ), 56.8% w grupie kontrolnej (średnio  $3.05^\circ \pm 1.77^\circ$ ). CCWR odnotowano u: 34.5% pacjentów z grupy  $< 22\text{mm}$  (średnio  $-4.00^\circ \pm 2.49^\circ$ ); 57.9% z grupy  $> 24.5\text{mm}$  (średnio  $-6.5^\circ \pm 5.00^\circ$ ); 37.8% w grupie kontrolnej (średnio  $-3.43^\circ \pm 2.41^\circ$ ). Rotacja nie wystąpiła w ogóle u: 17.2% pacjentów z grupy  $< 22\text{mm}$ , 7.9% z grupy  $> 24.5\text{mm}$ , 5.4% w grupie kontrolnej.

Wykazano, że astygmatyzm tylnej powierzchni rogówki przyjmuje najwyższe wartości u pacjentów z astygmatyzmem zgodnym z regułą, pośrednie w skośnym, a najniższe w przeciwnym regule ( $p<0,05$ ). Zabieg usunięcia zaćmy z cięcia 2.2mm z dwoma portami bocznymi 1.2mm nie wpływa istotnie na zmianę astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.

Istotną różnicę ( $p<0,05$ ) wartości mocy astygmatyzmu przedniej powierzchni rogówki przed- i po zabiegu wykazały wszystkie grupy biorące udział w badaniu w pomiarach aparatem Pentacam i, poza jedną (grupa  $< 22\text{mm}$ ), wszystkie badane aparatem IOLMaster700. Zgodność między keratometrią mierzoną na obu aparatach okazała się wysoka.

Wyniki przeprowadzonej ankiety satysfakcji pacjenta wykazały bardzo wysoki lub wysoki poziom zadowolenia z efektu zabiegu u 90.5% w grupie  $< 22\text{mm}$ , 100% w grupie  $> 24.5\text{mm}$  i 95.4% w grupie kontrolnej. Nikt nie odczuwał braku zadowolenia ani miernego stopnia zadowolenia. Niezależność od okularów do dali deklarowało 81% pacjentów w grupie  $< 22\text{mm}$  i 88.5% w grupie  $> 24.5\text{mm}$  i 71.5% w grupie kontrolnej.

#### **Wnioski:**

1. Wszczepienie soczewki torycznej podczas zabiegu usunięcia zaćmy przynosi dobry efekt refrakcyjny oraz pozwala na uzyskanie optymalnej ostrości wzroku do dali i niezależności od okularów u pacjentów z astygmatyzmem regularnym  $> 1.5\text{D}$  również w przypadku skrajnych długości gałek ocznych.

2. Mimo wykazanego podwyższonego ryzyka rotacji pooperacyjnej u pacjentów o długiej gałce ocznej, osiągnięte efekty refrakcyjne oraz pooperacyjna ostrość wzroku nie różnią się znacząco od innych grup.
3. Odbiegające od przewidywanych wartości astygmatyzmu pooperacyjnego po 2 tygodniach od zabiegu, po 3 miesiącach istotnie zbliżają się do założonych przedoperacyjnie.
4. Wykazane zależności między długością gałki ocznej i pooperacyjną nieskorygowaną ostrością wzroku do dali wskazują na możliwość negatywnego wpływu małej długości gałki ocznej na pozabiegową funkcję narządu wzroku.
5. Rodzaj astygmatyzmu wydaje się nie mieć wpływu na kierunek rotacji pooperacyjnej soczewki torycznej.
6. Uzyskane korelacje nie pozwalają uznać zabiegu usunięcia zaćmy z cięcia 2.2mm z dwoma cięciami bocznymi 1.2mm za czynnik wpływający na moc astygmatyzmu tylnej powierzchni rogówki.
7. Wyniki keratometrii przedniej powierzchni rogówki zmierzonej aparatami IOLMaster700 oraz Pentacam są porównywalne. Zabieg usunięcia zaćmy w istotnej mierze zmienia wartości keratometrii mierzonej na obu aparatach.



## 8. ABSTRACT

### **Introduction:**

Preoperative astigmatism above 1.5 D affects 20% of patients operated on for cataracts. It is an important reason for not achieving an optimal visual outcome after the procedure. Toric lenses correct both spherical and cylindrical refractive errors, improve uncorrected visual acuity and free from distance glasses. The process of qualifying a patient for the implantation of toric lenses requires the ophthalmologist to perform additional tests, analyze them and plan the procedure in order to obtain the best refractive result. Failure at any stage of this process results in a refractive error. Non-standard anatomical conditions may pose a prognostic and surgical challenge, and thus increase the risk of missing the assumed refractive effect.

### **Objectives:**

The objective of my project is to optimize the treatment of patients with a non-standard axial length who undergo cataract surgery with toric lens implantation including:

1. Determination of the influence of short and long axial length on obtaining the intended refractive effect during the implantation of toric lenses.
2. Analysis of the correlation between the depth of the anterior chamber and the achievement of the intended refractive effect, and between the type of astigmatism and the quantity and direction of rotation of the toric lens.
3. Determination of the impact of cataract surgery on the astigmatism power of the posterior surface of the cornea and the impact of the type of astigmatism on the change.
4. Evaluation of the consistency of keratometry results obtained with the use of two devices: IOLMaster700 and Pentacam.

### **Methods:**

The study included 104 eyes of 75 patients undergoing cataract surgery with simultaneous implantation of a toric lens at the Ophthalmology Clinic of the 4th Military Hospital of Wrocław in 2020-2023. Patients were divided into 3 groups depending on the axial length: 1. AL <22mm - hyperopic eyes, 2.AL->24.5mm - myopic eyes, 3.AL-22-24.5mm - control group. The basic condition for inclusion in the study was the presence of regular corneal astigmatism >1.5D. Patients were checked after 2 weeks and 3 months after the procedure, after stabilization of refraction. All patients underwent

autorefractometry, uncorrected and best-corrected distance visual acuity tests, optical biometrics using the IOLMaster700 device, and corneal topography using the Pentacam device before and after the procedure. The calculations of the intraocular lens were made using the Alcon Toric Calculator using the Barrett formula. All patients underwent an uncomplicated cataract extraction by the same surgeon, with a 2.2mm width incision on 100°axis, a 4.5-5mm diameter capsulorex and implantation of the AcrySof IQ Toric SN6ATx lens. The lenses were set in the assumed axis using the Z Align Zeiss Callisto optical control. 3 months after the procedure, an additional photo of the eye in mydriasis was taken with a fundus camera. The axis of lens implantation was assessed using the Goniotrans application.

Calculations were made using the R programming language (version 4.3, Vienna, Austria). The level of significance was  $p < 0.05$ .

### **Results:**

The mean postoperative lens rotation 3 months after surgery was: in the <22mm group:  $3.48^\circ \pm 3.2$ ; in the group >24.5mm:  $5.37^\circ \pm 4.52$ ; in the control group:  $3.03^\circ \pm 2.10$ . A statistically significant difference in postoperative rotation compared to the control group was found in the >24.5mm group ( $p = 0.012$ ).

The mean cylindrical component of the preoperative refractive error was: in the control group:  $-3.45 \pm 1.75$ , in the <22mm group:  $-3.17 \pm 1.00$ , in the >24.5mm group:  $-3.7 \pm 1.61$ .

The mean cylindrical component of the postoperative refractive error was: in the control group:  $-0.50 \pm 0.31$ , in the <22mm group:  $-0.58 \pm 0.37$ , in the >24.5 group:  $-0.48 \pm 0.27$ . The difference between pre- and postoperative cylinder power measurements was statistically significant in each group. Only in the groups with long and short axial length there were "refractive surprises".

The <22mm group significantly less often achieved UCDVA above 0.75 and above 0.9.

Postoperative anterior chamber depth showed no significant effect on postoperative lens rotation.

In the entire study sample, WTR astigmatism was present in 66.3% of patients, oblique in 25.0% and ATR in 8.7%. The type of astigmatism did not show a statistically significant effect on the postoperative direction of rotation of the IOL ( $p > 0.05$ ).

The direction of postoperative rotation CWR was noted in: 48.3% of patients in the < 22mm group (mean  $4.36^{\circ} \pm 3.48^{\circ}$ ), 34.2% of the >24.5mm group (mean  $4.69^{\circ} \pm 3.04^{\circ}$ ), 56.8% in the control group (mean  $3.05^{\circ} \pm 1.77^{\circ}$ ). CCWR was reported in: 34.5% of patients in the < 22mm group (mean  $-4.00^{\circ} \pm 2.49^{\circ}$ ); 57.9% of the >24.5mm group (mean  $-6.5^{\circ} \pm 5.00^{\circ}$ ); 37.8% in the control group (mean  $-3.43^{\circ} \pm 2.41^{\circ}$ ). Rotation did not occur at all in: 17.2% of patients in the < 22mm group, 7.9% in the > 24.5mm group, 5.4% in the control group.

It was shown that the astigmatism of the posterior surface of the cornea assumes the highest values in patients with with-the-rule-astigmatism, intermediate in oblique, and the lowest in the against-the-rule ( $p < 0.05$ ). The cataract removal procedure with a 2.2mm incision with two 1.2mm side ports does not significantly change the astigmatism of the posterior surface of the cornea.

A significant difference ( $p < 0.05$ ) in the astigmatism power of the anterior surface of the cornea before and after the procedure was shown by all groups participating in the study in measurements with the Pentacam camera and, except for one (group <22mm), all examined with the IOLMaster700 device. The agreement between the keratometry measured on both devices turned out to be high.

The results of the patient satisfaction survey showed very high and high level of satisfaction with the treatment effect in 90.5% in the <22mm group, 100% in the >24.5mm group and 95.4% in the control group. No one felt dissatisfied or moderately satisfied. Independence from distance glasses was declared by 81% of patients in the <22mm group, 88.5% in the >24.5mm group and 71.5% in the control group

### **Conclusions:**

1. Implantation of a toric lens during cataract surgery brings a good refractive effect and allows for optimal distance vision and independence from glasses in patients with regular astigmatism >1.5D, also in the case of long and short axial lengths.
2. Despite the demonstrated increased risk of postoperative rotation in patients with axial length above 24.5mm, the achieved refractive effects and postoperative visual acuity did not differ significantly from other groups.
3. The values of postoperative astigmatism deviating from the predicted values after 2 weeks from the procedure, after 3 months are significantly closer to the values assumed preoperatively.

4. The demonstrated relationships between the axial length and postoperative uncorrected distance visual acuity indicate the possibility of a negative impact of the short axial length on the postoperative function of the visual organ.

Preoperative anterior chamber depth may influence postoperative refraction in the short-eyed group.

5. The type of astigmatism does not seem to affect the direction of rotation of the postoperative toric lens.

6. The obtained correlations do not allow cataract removal with a 2.2 mm incision and two 1.2 mm side incisions to be considered a factor influencing the strength of the posterior corneal astigmatism.

7. Results of anterior corneal keratometry measured with IOLMaster700 and Pentacam devices are comparable. A statistically significant difference in the keratometry values measured before and after the procedure on both devices was demonstrated.

## 9. PIŚMIENNICTWO

1. Bochenek A. Układ nerwowy obwodowy, układ nerwowy autonomiczny, powłoka wspólna, narządy zmysłów. W: Abramowicz I, Jordan J, Krzyształowicz F, Łasiński W, Reicher M, redaktorzy. Anatomia człowieka : podręcznik dla studentów medycyny i lekarzy. Wyd.6. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2010.
2. World Health Organization. World report on vision [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2019 [cytowane 22 czerwiec 2023]. 160 s. Dostępne na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/328717>
3. Schuster AK, Nickels S, Pfeiffer N, Schmidtman I, Wild PS, Münzel T, i in. Frequency of cataract surgery and its impact on visual function—results from the German Gutenberg Health Study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2020;258(10):2223–31.
4. Prevalence of Cataract and Pseudophakia/Aphakia Among Adults in the United States. *Arch Ophthalmol*. 2004;122(4):487.
5. Eurostat [Internet]. [cytowane 8 lipiec 2023]. Dostępne na: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20191204-1>
6. Burton MJ, Ramke J, Marques AP, Bourne RRA, Congdon N, Jones I, i in. The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020. *Lancet Glob Health*. 2021;9(4):e489–551.
7. Bowling B, Szaflik J, Izdebska J, Dąbrowska AM, Gałecki T, Łazicka-Gałecka M, i in. *Kanski Okulistyka kliniczna*. Wyd. 5. Wrocław: Edra Urban & Partner; 2017.
8. Klein BEK, Klein R, Lee KE, Gangnon RE. Incidence of age-related cataract over a 15-year interval the Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology*. 2008;115(3):477–82.
9. Hautz W, Loba P, Rękas M, Cieślik K, Czaja-Drózd M, Czeszyk-Piotrowicz A, i in., redaktorzy. *Okulistyka dziecięca i zez*. Wrocław: Edra Urban & Partner; 2021.
10. Rękas M, American Academy of Ophthalmology, redaktorzy. *Soczewka i zaćma*. Wrocław: Edra Urban & Partner; 2021.
11. Vinson JA. Oxidative stress in cataracts. *Pathophysiology*. 2006;13(3):151–62.
12. Poh S, Mohamed Abdul RBB, Lamoureux EL, Wong TY, Sabanayagam C. Metabolic syndrome and eye diseases. *Diabetes Res Clin Pract*. 2016;113:86–100.
13. Robman L, Taylor H. External factors in the development of cataract. *Eye Lond Engl*. 2005;19(10):1074–82.
14. Age-Related Eye Disease Study Research Group. The Age-Related Eye Disease Study (AREDS). *Control Clin Trials*. 1999;20(6):573–600.
15. Klein BEK, Klein R, Lee KE, Meuer SM. Socioeconomic and lifestyle factors and the 10-year incidence of age-related cataracts. *Am J Ophthalmol*. 2003;136(3):506–12.

16. Chylack LT, Wolfe JK, Singer DM, Leske MC, Bullimore MA, Bailey IL, i in. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. Arch Ophthalmol Chic Ill 1960. 1993;111(6):831–6.
17. Bhatt AB, Scheffler AC, Feuer WJ, Yoo SH, Murray TG. Comparison of predictions made by the intraocular lens master and ultrasound biometry. Arch Ophthalmol Chic Ill 1960. 2008;126(7):929–33.
18. Sahin A, Hamrah P. Clinically relevant biometry. Curr Opin Ophthalmol. 2012;23(1):47–53.
19. Mylonas G, Sacu S, Buehl W, Ritter M, Georgopoulos M, Schmidt-Erfurth U. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. Acta Ophthalmol (Copenh). 2011;89(3):e237–41.
20. Misiuk-Hojto M, redaktor. Optyka kliniczna. Wrocław: Edra Urban & Partner; 2020.
21. Chung J, Bu JJ, Afshari NA. Advancements in intraocular lens power calculation formulas. Curr Opin Ophthalmol. 2022;33(1):35–40.
22. Kane JX, Chang DF. Intraocular Lens Power Formulas, Biometry, and Intraoperative Aberrometry. Ophthalmology. 2021;128(11):e94–114.
23. Koch DD, Hill W, Abulafia A, Wang L. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: I. Logical approach for classifying IOL calculation formulas. J Cataract Refract Surg. 2017;43(6):717–8.
24. Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg. 2011;37(1):63–71.
25. Hoffer KJ, Savini G. IOL Power Calculation in Short and Long Eyes. Asia-Pac J Ophthalmol Phila Pa. 2017;6(4):330–1.
26. Vilaltella M, Cid-Bertomeu P, Huerva V. Accuracy of 10 IOL power calculation formulas in 100 short eyes ( $\leq 22$  mm). Int Ophthalmol. 2023;
27. Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of Intraocular Lens Calculation Formulas. Ophthalmology. 2018;125(2):169–78.
28. Kothari SS, Reddy JC. Recent developments in the intraocular lens formulae: An update. Semin Ophthalmol. 2023;38(2):143–50.
29. Maroun A, El Shami M, Hoyek S, Antoun J. Comparison of the accuracy of nine intraocular lens power calculation formulas using partial coherence interferometry. J Fr Ophtalmol. 2023;46(4):341–7.
30. Wendelstein J, Kohnen T, Casazza M, Heath M, Riaz KM, Cooke DL, i in. Update on Biometry and Lens Calculation - A Review of the Basic Principles and New Developments. Klin Monatsbl Augenheilkd. 2022;239(8):960–70.
31. Bonfadini G, Ladas JG, Moreira H, Campos M, Matthaei M, Muñoz B, i in. Optimization of intraocular lens constant improves refractive outcomes in combined endothelial keratoplasty and cataract surgery. Ophthalmology. 2013;120(2):234–9.

32. Hill WE, Abulafia A, Wang L, Koch DD. Pursuing perfection in IOL calculations. II. Measurement foibles: Measurement errors, validation criteria, IOL constants, and lane length. *J Cataract Refract Surg.* 2017;43(7):869–70.
33. Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Intraocular lens formula constant optimization and partial coherence interferometry biometry: Refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(1):50–62.
34. Sheard R. Optimising biometry for best outcomes in cataract surgery. *Eye Lond Engl.* 2014;28(2):118–25.
35. Langenbacher A, Szentmáry N, Cayless A, Casaza M, Weisensee J, Hoffmann P, i in. Surgically Induced Astigmatism after Cataract Surgery - A Vector Analysis. *Curr Eye Res.* 2022;47(9):1279–87.
36. Norrby S, Bergman R, Hirschschall N, Nishi Y, Findl O. Prediction of the true IOL position. *Br J Ophthalmol.* p2017;101(10):1440–6.
37. Eom Y, Kang SY, Song JS, Kim YY, Kim HM. Effect of effective lens position on cylinder power of toric intraocular lenses. *Can J Ophthalmol J Can Ophtalmol.* 2015;50(1):26–32.
38. Savini G, Hoffer KJ, Carbonelli M, Ducoli P, Barboni P. Influence of axial length and corneal power on the astigmatic power of toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(12):1900–3.
39. Gatinel D, Debellemanièrre G, Saad A, Dubois M, Rampat R. Determining the Theoretical Effective Lens Position of Thick Intraocular Lenses for Machine Learning–Based IOL Power Calculation and Simulation. *Transl Vis Sci Technol.* 2021;10(4):27.
40. Liu YC, Wilkins M, Kim T, Malyugin B, Mehta JS. Cataracts. *The Lancet.* 2017;390(10094):600–12.
41. Jaycock P, Johnston RL, Taylor H, Adams M, Tole DM, Galloway P, i in. The Cataract National Dataset electronic multi-centre audit of 55 567 operations: updating benchmark standards of care in the United Kingdom and internationally. *Eye.* 2009;23(1):38–49.
42. Rejda R, Rękas M, redaktorzy. *Nowoczesna chirurgia zaćmy.* Gdańsk: Via Medica; 2021.
43. Goggin M. Toric intraocular lenses: Evidence-based use. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2022;50(5):481–9.
44. Day AC, Burr JM, Bennett K, Hunter R, Bunce C, Doré CJ, i in. Femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with phacoemulsification: the FACT non-inferiority RCT. *Health Technol Assess Winch Engl.* 2021;25(6):1–68.
45. EUREQUO [Internet]. [cytowane 8 lipiec 2023]. Dostępne na: [https://www.esrcs.org/media/3uhkvz2n/eurequo\\_annual-report\\_2020\\_21\\_final.pdf](https://www.esrcs.org/media/3uhkvz2n/eurequo_annual-report_2020_21_final.pdf)
46. Lundström M, Dickman M, Henry Y, Manning S, Rosen P, Tassignon MJ, i in. Risk factors for refractive error after cataract surgery: Analysis of 282 811 cataract extractions reported to the European Registry of Quality Outcomes for cataract and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2018;44(4):447–52.

47. Segers MHM. Risk factors for posterior capsule rupture in cataract surgery as reflected in the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2022;48(1):51–5.
48. Goel R, Shah S, Malik KS, Sontakke R, Golhait P, Gaonker T. Complications of manual small-incision cataract surgery. *Indian J Ophthalmol.* 2022;70(11):3803.
49. Cao H, Zhang L, Li L, Lo S. Risk Factors for Acute Endophthalmitis following Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vavvas D, redaktor. *PLoS ONE.* 26 2013;8(8):e71731.
50. Maedel S, Evans JR, Harrer-Seely A, Findl O. Intraocular lens optic edge design for the prevention of posterior capsule opacification after cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021;8(8):CD012516.
51. Keshav V, Henderson BA. Astigmatism Management with Intraocular Lens Surgery. *Ophthalmology.* 2021;128(11):e153–63.
52. Ostri C, Falck L, Boberg-Ans G, Kessel L. The need for toric intra-ocular lens implantation in public ophthalmology departments. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 2015;93(5):e396–7.
53. Hoffmann PC, Hütz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23,239 eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(9):1479–85.
54. Gurnani B, Kaur K. Astigmatism. W: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cytowane 28 czerwiec 2023]. Dostępne na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK582142/>
55. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom.* 2007;90(1):5–19.
56. Ambroziak AM, Gabrysiak-Wąsowska M, Miller KM, Szaflik J, redaktorzy. *Optyka kliniczna.* Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2009.
57. Koch DD, Ali SF, Weikert MP, Shirayama M, Jenkins R, Wang L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(12):2080–7.
58. Savini G, Næser K. An analysis of the factors influencing the residual refractive astigmatism after cataract surgery with toric intraocular lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015;56(2):827–35.
59. Liu W, Yang L, Liu J. The Impact of Posterior Corneal Astigmatism on Surgically Induced Astigmatism in Cataract Surgery. *Int J Gen Med.* 2022;15:8417–25.
60. Ninomiya Y, Minami K, Miyata K, Eguchi S, Sato R, Okamoto F, i in. Toric intraocular lenses in eyes with with-the-rule, against-the-rule, and oblique astigmatism: One-year results. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(10):1431–40.
61. Namba H, Sugano A, Murakami T, Utsunomiya H, Nishitsuka K, Ishizawa K, i in. Age-Related Changes in Astigmatism and Potential Causes. *Cornea.* 2020;39(1):S34–8.



62. Miyake T, Shimizu K, Kamiya K. Distribution of Posterior Corneal Astigmatism According to Axis Orientation of Anterior Corneal Astigmatism. Pan CW, redaktor. PLOS ONE. 27 2015;10(1):e0117194.
63. Nemeth G, Berta A, Szalai E, Hassan Z, Modis L. Analysis of surgically induced astigmatism on the posterior surface of the cornea. J Refract Surg Thorofare NJ 1995. 2014;30(9):604–8.
64. Ueno Y, Hiraoka T, Miyazaki M, Ito M, Oshika T. Corneal thickness profile and posterior corneal astigmatism in normal corneas. Ophthalmology. 2015;122(6):1072–8.
65. Klijn S, van der Sommen CM, Sicam VADP, Reus NJ. Value of posterior keratometry in the assessment of surgically induced astigmatic change in cataract surgery. Acta Ophthalmol (Copenh). 2016;94(5):494–8.
66. Chang YC, Mesquita GM, Williams S, Gregori G, Cabot F, Ho A, i in. In vivo measurement of the human crystalline lens equivalent refractive index using extended-depth OCT. Biomed Opt Express. 2019;10(2):411.
67. Hirnschall N, Buehren T, Bajramovic F, Trost M, Teuber T, Findl O. Prediction of postoperative intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography. J Cataract Refract Surg. 2017;43(6):732–6.
68. Wang L, Guimaraes de Souza R, Weikert MP, Koch DD. Evaluation of crystalline lens and intraocular lens tilt using a swept-source optical coherence tomography biometer. J Cataract Refract Surg. 2019;45(1):35–40.
69. Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing. J Cataract Refract Surg. 2018;44(6):745–9.
70. Ashena Z, Maqsood S, Ahmed SN, Nanavaty MA. Effect of Intraocular Lens Tilt and Decentration on Visual Acuity, Dysphotopsia and Wavefront Aberrations. Vis Basel Switz. 2020;4(3):41.
71. Goggin M, LaHood BR, Roggia MF, Chen TS, Beheregaray S, Esterman A. Leftover Astigmatism: The Missing Link Between Measured and Calculated Posterior Corneal Astigmatism. J Refract Surg Thorofare NJ 1995. 2022;38(9):559–64.
72. Masket S, Wang L, Belani S. Induced astigmatism with 2.2- and 3.0-mm coaxial phacoemulsification incisions. J Refract Surg Thorofare NJ 1995. 2009;25(1):21–4.
73. Borasio E, Mehta JS, Maurino V. Surgically induced astigmatism after phacoemulsification in eyes with mild to moderate corneal astigmatism: temporal versus on-axis clear corneal incisions. J Cataract Refract Surg. 2006;32(4):565–72.
74. Dick B, Kohnen T, Jacobi F, Jacobi KW. Long-term outcome after implantation of various intraocular lenses through a corneal tunnel. Klin Monatsbl Augenheilkd. 1997;211(2):106–12.
75. Kohnen T, Dick B, Jacobi KW. Comparison of the induced astigmatism after temporal clear corneal tunnel incisions of different sizes. J Cataract Refract Surg. 1995;21(4):417–24.

76. Rathi M, Dabas R, Verma R, Rustagi I, Mathur S, Dhanias S. Comparison of surgically induced astigmatism in chevron, straight, and frown incisions in manual small-incision cataract surgery. *Indian J Ophthalmol.* 2022;70(11):3865.
77. Febbraro JL, Khan HN, Koch DD. *Surgical correction of astigmatism.* Cham: Springer; 2018.
78. Singh VM, Ramappa M, Murthy SI, Rostov AT. Toric intraocular lenses: Expanding indications and preoperative and surgical considerations to improve outcomes. *Indian J Ophthalmol.* 2022;70(1):10–23.
79. Hayashi K, Manabe SI, Hirata A, Yoshimura K. Changes in corneal astigmatism during 20 years after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2017;43(5):615–21.
80. Gudmundsdottir E, Arnarsson A, Jonasson F. Five-year refractive changes in an adult population: Reykjavik Eye Study. *Ophthalmology.* 2005;112(4):672–7.
81. Karunaratne N. Comparison of the Pentacam equivalent keratometry reading and IOL Master keratometry measurement in intraocular lens power calculations. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2013;41(9):825–34.
82. Kessel L, Andresen J, Tendal B, Erngaard D, Flesner P, Hjortdal J. Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery. *Ophthalmology.* 2016;123(2):275–86.
83. Rigi M, Al-Mohtaseb Z, Weikert MP. Astigmatism Correction in Cataract Surgery: Toric Intraocular Lens Placement Versus Peripheral Corneal Relaxing Incisions. *Int Ophthalmol Clin.* 2016;56(3):39–47.
84. Rubenstein JB, Raciti M. Approaches to corneal astigmatism in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2013;24(1):30–4.
85. Leon P, Pastore MR, Zanei A, Umari I, Messai M, Negro C, et al. Correction of low corneal astigmatism in cataract surgery. *Int J Ophthalmol.* 2015;8(4):719–24.
86. Lake JC, Victor G, Clare G, Porfírio GJ, Kernohan A, Evans JR. Toric intraocular lens versus limbal relaxing incisions for corneal astigmatism after phacoemulsification. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;12(12):CD012801.
87. Amesbury EC, Miller KM. Correction of astigmatism at the time of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2009;20(1):19–24.
88. Mozayan E, Lee JK. Update on astigmatism management. *Curr Opin Ophthalmol.* 2014;25(4):286–90.
89. Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift. *J Cataract Refract Surg.* 1994;20(5):523–6.
90. Ruhswurm I, Scholz U, Zehetmayer M, Hanselmayer G, Vass C, Skorpik C. Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients. *J Cataract Refract Surg.* 2000;26(7):1022–7.
91. Felipe A, Artigas JM, Díez-Ajenjo A, García-Domene C, Alcocer P. Residual astigmatism produced by toric intraocular lens rotation. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(10):1895–901.

92. Miyake T, Kamiya K, Amano R, Iida Y, Tsunehiro S, Shimizu K. Long-term clinical outcomes of toric intraocular lens implantation in cataract cases with preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(10):1654–60.
93. Kaur M, Shaikh F, Falera R, Titiyal JS. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol.* 2017;65(12):1301–13.
94. Beheregaray S, Goggin M, LaHood B. Astigmatic overcorrection and axis flip for targeting minimal remaining refractive astigmatism with toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2018;44(1):109–10.
95. Kolozsvári BL, Losonczy G, Pásztor D, Fodor M. Correction of irregular and induced regular corneal astigmatism with toric IOL after posterior segment surgery: a case series. *BMC Ophthalmol.* 2017;17(1):3.
96. Parikakis EA, Chatziralli IP, Peponis VG, David G, Chalkiadakis S, Mitropoulos PG. Toric Intraocular Lens Implantation for Correction of Astigmatism in Cataract Patients with Corneal Ectasia. *Case Rep Ophthalmol.* 2013;4(3):219–28.
97. Khatib ZI, Haldipurkar SS, Shetty V. Verion digital marking versus smartphone-assisted manual marking and isolated manual marking in toric intraocular lens implantation. *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(3):455–8.
98. Vukich JA, Ang RE, Straker BJK, Janakiraman DP, Smith PJ, Batlle JF, i in. Evaluation of Intraocular Lens Rotational Stability in a Multicenter Clinical Trial. *Clin Ophthalmol Auckl NZ.* 2021;15:3001–16.
99. Hirschschall N, Findl O, Bayer N, Leisser C, Norrby S, Zimper E, i in. Sources of Error in Toric Intraocular Lens Power Calculation. *J Refract Surg.* 2020;36(10):646–52.
100. Zhu X, He W, Zhang K, Lu Y. Factors influencing 1-year rotational stability of AcrySof Toric intraocular lenses. *Br J Ophthalmol.* 2016;100(2):263–8.
101. Linnola RJ, Werner L, Pandey SK, Escobar-Gomez M, Znoiko SL, Apple DJ. Adhesion of fibronectin, vitronectin, laminin, and collagen type IV to intraocular lens materials in pseudophakic human autopsy eyes. Part 1: histological sections. *J Cataract Refract Surg.* 2000;26(12):1792–806.
102. Pisella PJ. Gestion de l'astigmatisme résiduel après chirurgie de la cataracte. *J Fr Ophthalmol.* 2012;35(3):226–8.
103. Jivrajka R, Shamma MC, Boenzi T, Swearingen M, Shamma JH. Variability of axial length, anterior chamber depth, and lens thickness in the cataractous eye. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(2):289–94.
104. Wickremasinghe S, Foster PJ, Uranchimeg D, Lee PS, Devereux JG, Alsbirk PH, i in. Ocular Biometry and Refraction in Mongolian Adults. *Investig Ophthalmology Vis Sci.* 2004;45(3):776.
105. Shufelt C, Fraser-Bell S, Ying-Lai M, Torres M, Varma R. Refractive Error, Ocular Biometry, and Lens Opalescence in an Adult Population: The Los Angeles Latino Eye Study. *Investig Ophthalmology Vis Sci.* 2005;46(12):4450.

106. Young TL. Complex Trait Genetics of Refractive Error. *Arch Ophthalmol*. 2007;125(1):38.
107. Strang NC, Schmid KL, Carney LG. Hyperopia is predominantly axial in nature. *Curr Eye Res*. 1998;17(4):380–3.
108. Carney LG, Mainstone JC, Henderson BA. Corneal topography and myopia. A cross-sectional study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997;38(2):311–20.
109. Younan C, Mitchell P, Cumming RG, Rochtchina E, Wang JJ. Myopia and incident cataract and cataract surgery: the blue mountains eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43(12):3625–32.
110. Abriszewska D, Kałużny J, Rosenfeld SI, redaktorzy. *Soczewka i zaćma*. Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2007.
111. Chong EW, Mehta JS. High myopia and cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2016;27(1):45–50.
112. Zheng Q, Zhao Z, Lian H, Zhao Y. The analysis of refractive error of long axial high myopic eyes after IOL implantation. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi Chin J Ophthalmol*. 2015;51(4):276–81.
113. Hoffman RS, Vasavada AR, Allen QB, Snyder ME, Devgan U, Braga-Mele R. Cataract surgery in the small eye. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(11):2565–75.
114. Day AC, Foster PJ, Stevens JD. Accuracy of intraocular lens power calculations in eyes with axial length <22.00 mm. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2012;40(9):855–62.
115. Gökce SE, Zeiter JH, Weikert MP, Koch DD, Hill W, Wang L. Intraocular lens power calculations in short eyes using 7 formulas. *J Cataract Refract Surg*. 2017;43(7):892–7.
116. Terzi E, Wang L, Kohnen T. Accuracy of modern intraocular lens power calculation formulas in refractive lens exchange for high myopia and high hyperopia. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(7):1181–9.
117. Hirschschall N, Hoffmann PC, Draschl P, Maedel S, Findl O. Evaluation of Factors Influencing the Remaining Astigmatism After Toric Intraocular Lens Implantation. *J Refract Surg*. 2014;30(6):394–400.
118. Klein BEK, Klein R, Lee KE. Incidence of age-related cataract over a 10-year interval: the Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology*. 2002;109(11):2052–7.
119. Visser N, Bauer NJC, Nuijts RMMA. Toric intraocular lenses: Historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *J Cataract Refract Surg*. 2013;39(4):624–37.
120. Shah GD, Praveen MR, Vasavada AR, Vasavada VA, Rampal G, Shastri LR. Rotational stability of a toric intraocular lens: influence of axial length and alignment in the capsular bag. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(1):54–9.
121. Lim SJ, Kang SJ, Kim HB, Kurata Y, Sakabe I, Apple DJ. Analysis of zonular-free zone and lens size in relation to axial length of eye with age. *J Cataract Refract Surg*. 1998;24(3):390–6.

122. Vasavada A, Singh R. Relationship between lens and capsular bag size. *J Cataract Refract Surg.* 1998;24(4):547–51.
123. Vass C, Menapace R, Schmetterer K, Findl O, Rainer G, Steineck I. Prediction of pseudophakic capsular bag diameter based on biometric variables. *J Cataract Refract Surg.* 1999;25(10):1376–81.
124. Jiang HM, Liang K, Tao LM. Comparative evaluation of rotational stability of toric IOLs with four-eyelet vs two-eyelet capsular tension rings in eyes with high myopia. *Int J Ophthalmol.* 2021;14(3):378–82.
125. Chang DF. Early rotational stability of the longer Staar toric intraocular lens: fifty consecutive cases. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29(5):935–40.
126. Prinz A, Neumayer T, Buehl W, Vock L, Menapace R, Findl O, i in. Rotational stability and posterior capsule opacification of a plate-haptic and an open-loop-haptic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(2):251–7.
127. Sigireddi RR, Weikert MP. How much astigmatism to treat in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2020;31(1):10–4.
128. Villegas EA, Alcón E, Artal P. Minimum amount of astigmatism that should be corrected. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(1):13–9.
129. Sharma N, Singhal D, Nair S, Sahay P, Sreeshankar S, Maharana P. Corneal edema after phacoemulsification. *Indian J Ophthalmol.* 2017;65(12):1381.
130. Zhang JJ, Li JQ, Li C, Cao YH, Lu PR. Influence of lens position as detected by an anterior segment analysis system on postoperative refraction in cataract surgery. *Int J Ophthalmol.* 2021;14(7):1006–12.
131. Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand.* 2007;85(5):472–85.
132. Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(3):368–76.
133. Preussner PR, Hoffmann P, Wahl J. Impact of Posterior Corneal Surface on Toric Intraocular Lens (IOL) Calculation. *Curr Eye Res.* 2015;40(8):809–14.
134. Shao X, Zhou KJ, Pan AP, Cheng XY, Cai HX, Huang JH, i in. Age-Related Changes in Corneal Astigmatism. *J Refract Surg.* 2017;33(10):696–703.
135. Yoon YC, Ha M, Whang WJ. Comparison of surgically induced astigmatism between anterior and total cornea in 2.2 mm steep meridian incision cataract surgery. *BMC Ophthalmol.* 2021;21(1):373.
136. Mohammadi SF, Khorrami-Nejad M, Hamidirad M. Posterior corneal astigmatism: a review article. *Clin Optom.* 2019;11:85–96.
137. Ali H. Saad. Comparative Study between Pentacam and IOL Master in Measuring Anterior Segment Parameters in Eyes of Egyptian Individuals. *Med J Cairo Univ.* 2019;87(7):4087–92.

138. Lu W, Li Y, Savini G, Song B, Hu Q, Wang Q, i in. Comparison of anterior segment measurements obtained using a swept-source optical coherence tomography biometer and a Scheimpflug–Placido tomographer. *J Cataract Refract Surg.*2019;45(3):298–304.
139. McLintock C, Niyazmand H, Seo S, Barrett G, Kumar Nilagiri V, Karimian S, i in. Agreement between a new swept-source ocular coherence tomography and a Placido disc-dual Scheimpflug ocular biometric devices. *Eur J Ophthalmol.* 2022;11206721221143160.
140. Sel S, Stange J, Kaiser D, Kiraly L. Repeatability and agreement of Scheimpflug-based and swept-source optical biometry measurements. *Contact Lens Anterior Eye J Br Contact Lens Assoc.* 2017;40(5):318–22.
141. Dong J, Yao J, Chang S, Kanclerz P, Khoramnia R, Wang X. Comparison Study of the Two Biometers Based on Swept-Source Optical Coherence Tomography Technology. *Diagn Basel Switz.* 2022;12(3):598.
142. Wang L, Cao D, Vilar C, Koch DD. Posterior and total corneal astigmatism measured with optical coherence tomography-based biometer and dual Scheimpflug analyzer. *J Cataract Refract Surg.* 2020;46(12):1652–8.
143. Chalkiadaki E, Gartaganis PS, Ntravalias T, Giannakis I, Manousakis E, Karmiris E. Agreement in anterior segment measurements between swept-source and Scheimpflug-based optical biometries in keratoconic eyes: a pilot study. *Ther Adv Ophthalmol.* 2022;14:251584142110632.
144. Goggin M, Patel I, Billing K, Esterman A. Variation in surgically induced astigmatism estimation due to test-to-test variations in keratometry. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(10):1792–3.
145. Savage H, Rothstein M, Davuluri G, El Ghormli L, Zaetta DM. Myopic astigmatism and presbyopia trial. *Am J Ophthalmol.* 2003;135(5):628–32.
146. Desai P, Reidy A, Minassian DC, Vafidis G, Bolger J. Gains from cataract surgery: visual function and quality of life. *Br J Ophthalmol.* 1996;80(10):868–73.
147. Agresta B, Knorz MC, Donatti C, Jackson D. Visual acuity improvements after implantation of toric intraocular lenses in cataract patients with astigmatism: a systematic review. *BMC Ophthalmol.* 2012;12:41.
148. Laurendeau C, Lafuma A, Berdeaux G. Modelling lifetime cost consequences of toric compared with standard IOLs in cataract surgery of astigmatic patients in four European countries. *J Med Econ.* 2009;12(3):230–7.
149. Kawahara A. Predicting Residual Astigmatism in Cataract Surgery. *Vision.* 2022;6(4):70.
150. Abulafia A, Barrett GD, Porat-Rein A, Tessler M, Zadok D, Kan-Tor Y, i in. Measured Corneal Astigmatism Versus Pseudophakic Predicted Refractive Astigmatism in Cataract Surgery Candidates. *Am J Ophthalmol.* 2022;240:225–31.
151. International Organisation for Standardisation Ophthalmic Implants - Intraocular Lenses - Part 2: Optical Properties and Test Methods. Geneva, Switzerland: ISO. 2000.

152. Mălăescu M, Stanca HT, Tăbăcaru B, Stănilă A, Stanca S, Danielescu C. Accuracy of five intraocular lens formulas in eyes with trifocal lens implant. *Exp Ther Med.* 2020;20(3):2536–43.
153. Fan Q, Teo YY, Saw SM. Application of Advanced Statistics in Ophthalmology. *Investig Ophthalmology Vis Sci.* 2011;52(9):6059.
154. Jivrajka RV, Shamma MC, Shamma HJ. Improving the second-eye refractive error in patients undergoing bilateral sequential cataract surgery. *Ophthalmology.* 2012;119(6):1097–101.