

Skuteczność kontroli krótkowzroczności u dzieci i młodzieży dzięki okularom z soczewkami modyfikującymi rozmycie obrazu na obrzeżach pola widzenia: metaanaliza

Hao-Bo Fan^{1,2}, Zhi-Lin Li¹, Xue-Min Zhang², Ai-Rui Xie^{1,2}, Qiu-Mei Wei², Ting-Ting Song², Jun-Guo Duan^{1,2,3,4}

¹ Wydział Okulistyki Uniwersytetu Tradycyjnej Medycyny Chińskiej w Chengdu, Chengdu 610000, prowincja Syczuan, Chiny

² Katedra Optometrii i Okulistyki Dziecięcej, Szpital Okulistyczny Uniwersytetu Tradycyjnej Medycyny Chińskiej w Chengdu, Chengdu 610000, prowincja Syczuan, Chiny

³ Kluczowe laboratorium prowincji Syczuan ds. zapobiegania i leczenia chorób oczu oraz ochrony funkcji wzrokowej z wykorzystaniem tradycyjnej medycyny chińskiej, Chengdu 610000, prowincja Syczuan, Chiny ⁴ Centrum technologii obrazowania siatkówki oraz zapobiegania i kontroli przewlekłych chorób naczyniowych oraz współpracy w zakresie innowacji, Chengdu 610000, prowincja Syczuan, Chiny

Korespondencja: Jun-Guo Duan. Szpital okulistyczny Uniwersytetu Tradycyjnej Medycyny Chińskiej w Chengdu, nr 8 Xinghui West Road, Chengdu 610000, Chiny. duanjg@cdutcm.edu.cn

Otrzymano: 2024-02-24 Zaakceptowano: 2024-12-04

Streszczenie

● **CEL:** Ocena wpływu konstrukcji mikrosoczewek w okularach modyfikujących rozmycie obrazu na obrzeżach pola widzenia (PDMSL) oraz konstrukcji bez mikrosoczewek w okularach PDMSL na kontrolowanie postępu krótkowzroczności u dzieci i młodzieży.

● **METODY:** Przeprowadzono systematyczne wyszukiwanie w bazach danych PubMed, Cochrane Library, Embase, CNKI i Web of Science. Wyszukiwanie dotyczyło randomizowanych badań kontrolowanych (RCT) i badań kohortowych (CT), w których badano wpływ soczewek PDMSL na kontrolę krótkowzroczności u dzieci i młodzieży. Do oceny ryzyka błędu systematycznego w uwzględnionych badaniach wykorzystano narzędzie Cochrane do oceny ryzyka błędu systematycznego oraz skalę Newcastle-Ottawa. Opublikowane błędy systematyczne włączonych badań oceniono za pomocą testu Eggera.

● **WYNIKI:** Uwzględniono dziewięć badań (7 RCT, 2 CT), w których wzięło udział 4332 uczestników z grupy PDMSL i 7317 uczestników z grupy soczewek jednoogniskowych (SVL). Metaanaliza wykazała, że soczewki PDMSL z mikrosoczewkami charakteryzowały się mniejszą zmianą refrakcji sferycznej równoważnej (SER) niż soczewki SVL po 6, 12, 18 i 24 miesiącach noszenia okularów, przy

zmniejszeniem o 0,19 D (95% CI: 0,14 do 0,24, P<0,00001), 0,36 D (95% CI: 0,25 do 0,46, P<0,00001), 0,43 D (95% CI: 0,32 do 0,55, P<0,00001) oraz 0,51 D (95% CI: 0,33 do 0,69, P<0,00001). Zmiany długości osiowej (AL) były również mniejsze w przypadku PDMSL w porównaniu z SVL, przy czym zmniejszenie wyniosło -0,09 mm (95% CI: -0,13 do -0,04, P=0,0002), -0,15 mm (95% CI: -0,21 do -0,08, P<0,00001), -0,27 mm (95% CI: -0,34 do -0,20, P<0,00001) oraz -0,29 mm (95% CI: -0,38 do -0,20, P<0,00001). Nie stwierdzono istotnej różnicy między grupą bez mikrosoczewek a grupą SVL w zakresie kontroli zmian SER i AL w krótkowzroczności (oba P>0,05).

● **WNIOSEK:** Zsyntetyzowane dowody wskazują na lepsze wyniki leczenia krótkowzroczności przy użyciu soczewek PDMSL z mikrosoczewkami w porównaniu z soczewkami SVL i soczewkami PDMSL bez mikrosoczewek u dzieci i młodzieży.

● **SŁOWA KLUCZOWE:** rozmycie obwodowe; soczewki okularowe; krótkowzroczność; długość osiowa; metaanaliza

DOI:10.18240/ijo.2025.04.20

Cytat: Fan HB, Li ZL, Zhang XM, Xie AR, Wei QM, Song TT, Duan JG. Skuteczność kontroli krótkowzroczności u dzieci i młodzieży dzięki okularom z soczewkami modyfikującymi rozmycie obrazu na obrzeżach pola widzenia: metaanaliza. *Int J Ophthalmol* 2025;18(4):723-734

WPROWADZENIE

Między innymi, rosnąca liczba ludzi na całym świecie, co szacuje się na 22,9% światowej populacji^[1], jest poważnym problemem, którego nie można ignorować ze względu na jego wpływ na zdrowie ludzkich oczu.

Badania wykazały, że występowanie i postęp krótkowzroczności są ściśle związane z czynnikami takimi jak niewystarczająca aktywność na świeżym powietrzu⁽²⁻⁴⁾, nadmierne korzystanie z widzenia z bliska⁽⁵⁻⁶⁾, zmiany w metodach oświetlenia⁽⁷⁾ oraz niewystarczająca ilość snu⁽⁸⁾. W dzisiejszym społeczeństwie wykorzystanie technologii cyfrowej i zmiany w sposobach rozrywki przyczyniają się do corocznego wzrostu częstości występowania krótkowzroczności, nie tylko w Azji Wschodniej, ale także w Europie i Ameryce Północnej, szczególnie wśród dzieci i młodzieży⁽⁹⁻¹¹⁾. Szacuje się, że do 2050 r.

na całym świecie będzie 4,758 miliarda osób z krótkowzrocznością, co stanowi 49,8% całej populacji^[1].

W 1971 roku Hoogerheide *i wsp.* ^[12] opisali związek między rozogniskowaniem obwodowej części siatkówki a krótkowzrocznością i od tego czasu rola dioptrii obwodowej siatkówki jest szeroko dyskutowana. Kolejne badania wykazały, że obecność, stopień i rozmieszczenie obwodowego rozmycia obrazu w siatkówce mają znaczący wpływ na wzrost oka, co sugeruje, że oczy z wyższym stopniem nadwzroczności w obwodowej części siatkówki są bardziej podatne na krótkowzroczność^[(13-16)]. Wyniki te sugerują, że poprawa nadwzroczności obwodowej siatkówki może być metodą zapobiegania występowaniu i postępowi krótkowzroczności u nastolatków^[(17-18)]. Tradycyjne soczewki okularowe, które są najczęściej stosowane, korygowały przede wszystkim wady refrakcji w obszarze plamki żółtej, ale nie uwzględniały wpływu nieostrości widzenia w obwodowej części siatkówki^[(19)].

Soczewki okularowe modyfikujące rozmycie obwodowe (PDMSL), zaprojektowane w oparciu o teorię rozmycia obwodowego siatkówki, są stosowane od wielu lat w celu kontrolowania rozwoju krótkowzroczności u dzieci i młodzieży. Jednak nadal istnieją kontrowersje dotyczące tego, czy zapewniają one lepszy efekt kontroli krótkowzroczności^[(16,20-22)]. Ponadto poprzednie metaanalizy PDMSL nie uwzględniały niektórych nowych projektów tego typu soczewek, które pojawiły się w ostatnich latach^[(23-24)]. Celem niniejszego badania jest przeprowadzenie metaanalizy porównującej różnice między soczewkami PDMSL a soczewkami jednoogniskowymi (SVL) w zakresie kontroli wzrostu dioptrii i długości osiowej (AL) krótkowzroczności u dzieci i młodzieży. Analiza ta ma na celu dostarczenie podstaw do wyboru i zastosowania soczewek w celu kontroli rozwoju krótkowzroczności.

MATERIAŁY I METODY

Niniejsza synteza dowodów została metodologicznie dostosowana do ram Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) ^[25], a wcześniejsza rejestracja została dokonana w International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) pod identyfikatorem CRD42023475928.

Strategia wyszukiwania Dwóch badaczy przeszukało następujące bazy danych, w tym PubMed, Cochrane Library, Embase, CNKI i Web of Science, w celu zebrania odpowiednich badań dotyczących wpływu soczewek PDMSL na kontrolę krótkowzroczności u dzieci i młodzieży. Wyszukiwanie przeprowadzono od momentu powstania baz danych do 31 października 2023 r. i objęło ono badania w języku angielskim. Wyszukiwanie w języku angielskim przeprowadzono przy użyciu następujących terminów: *peripheral defocus* (rozmycie obwodowe), *spectacles* (okulary), *myopia* (krótkowzroczność) i *single vision* (jednoogniskowe). Strategia wyszukiwania została dostosowana do różnych baz danych. Oprócz wstępnie zidentyfikowanych badań i odpowiednich przeglądów systematycznych, uwzględniono również dalsze badania poprzez przegląd list referencyjnych powiązanych badań i przeglądów systematycznych.

Kryteria wyboru, włączenia i wykluczenia badań Badania kwalifikowały się do włączenia, jeśli spełniały następujące kryteria:

1) Projekt badania: randomizowane badania kontrolowane (RCT) i badania kohortowe (CT). 2) Uczestnicy: Zakres wad refrakcji obejmował krótkowzroczność od -0,50 do -8,00 D oraz astygmatyzm.

≤1,00 D; Zakres wieku: 8–18 lat; Nie zaobserwowano istotnych różnic w najlepszej skorygowanej ostrości wzroku (BCVA), refrakcji sferycznej (SER) ani długości osiowej (AL) przed interwencją między grupami PDMSL i SVL; Wykluczono badania z udziałem pacjentów, którzy cierpieli na inne choroby oczu, nosili inne okulary lub soczewki kontaktowe o działaniu kontrolującym krótkowzroczność lub stosowali leki lub inne metody kontroli krótkowzroczności podczas noszenia soczewek.

3) Interwencja: PDMSL; 4) Interwencja kontrolna: SVL;

5) Okres obserwacji: Badania wykazały wpływ PDMSL na kontrolę krótkowzroczności w czasie. Dlatego też wyniki wszystkich badań zostały pogrupowane według czasu obserwacji. 6) Mierniki wyników: zmiany SER i AL przed i po interwencji. Badania zostały wykluczone na podstawie następujących czynników: 1) Niezgodność z kryteriami włączenia; 2) Brak pełnych tekstów lub niekompletne dane; 3) Duplikaty publikacji;

4) Raporty w języku innym niż angielski.

Ekstrakcja danych Dwóch niezależnych recenzentów dokonało ekstrakcji danych z badań przy użyciu standardowych formularzy ekstrakcji, a trzeci recenzent zweryfikował ich dokładność i spójność. Po wyodrębnieniu istotnych informacji z literatury dane wprowadzono do standardowej tabeli, która zawierała takie informacje, jak nazwisko pierwszego autora, rok publikacji, kraj i region, rodzaj badania, czas trwania, charakterystyka wyjściowa badanej populacji oraz podstawowe miary wyników. Brakujące dane uzupełniono poprzez dodatkowe wyszukiwanie literatury lub korespondencję z pierwotnymi badaczami. Wszystkie wyodrębnione dane zostały systematycznie uporządkowane w tabelach dowodowych.

Ocena ryzyka błędów systematycznych Dwóch recenzentów niezależnie oceniło jakość metodologiczną za pomocą narzędzi oceny dostosowanych do projektu badania. Badania RCT zostały ocenione za pomocą narzędzia Cochrane Risk of Bias, które bada procedury randomizacji, ukrywanie przydziału, zaślepianie (uczestnicy/personel i osoby oceniające wyniki), kompletność danych dotyczących wyników oraz selektywne raportowanie. Badania kliniczne (CT) oceniono za pomocą skali Newcastle-Ottawa (NOS), której obszary oceny obejmowały dobór uczestników, porównywalność grup i ustalenie ekspozycji. Badania, które uzyskały wynik ≥7 w skali NOS, zostały sklasyfikowane jako badania wysokiej jakości. Rozbieżności między recenzentami zostały rozstrzygnięte w drodze konsensusu z udziałem trzeciego metodologa.

Analiza statystyczna Analizę statystyczną przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Review Manager 5.4, w którym wyniki leczenia dla SER i AL wyrażono jako średnią różnicę (MD) wraz z 95% przedziałem ufności (CI), wyliczoną na podstawie zgłoszonych średnich i odchyłeń standardowych (SD). Zmienność między badaniami została określona ilościowo za pomocą testu I^2 . Niektóre badania ^{[(20,26-)} ^{(27)]} wykazały, że soczewki PDMSL o różnych konstrukcjach mają różny wpływ na kontrolę krótkowzroczności. Dlatego niniejsze badanie podzielono

na dwie podgrupy w oparciu o konstrukcję soczewek defokusowych: grupę z mikrosoczewkami i grupę bez mikrosoczewek. W przypadku metaanalizy zastosowano model efektów stałych, gdy heterogeniczność badań była nieistotna ($I^2 \leq 50\%$); w przeciwnym razie zastosowano model efektów losowych. Przeprowadzono analizy podgrup i analizy wrażliwości w celu zbadania źródeł heterogeniczności i solidności wyników. Stronniczość publikacji oceniono za pomocą testu regresji Eggera.

WYNIKI

Strategia wyszukiwania W wyniku systematycznego przeglądu zidentyfikowano 680 badań, z których 278 przeszło do etapu przeglądu tytułów/streszczeń po usunięciu duplikatów. Na tym etapie wykluczono 256 rekordów, pozostawiając 22 artykuły do oceny pełnego tekstu. Następnie wykluczono trzynaście badań, które nie spełniały kryteriów włączenia. Ostatecznie w metaanalizie uwzględniono 9 badań (7 RCT i 2 badania kohortowe) (^[16,20-22,27-31]). Proces selekcji badań przedstawiono na diagramie PRISMA (ryc. 1).

Charakterystyka badań i ocena ryzyka błędu systematycznego Wśród uwzględnionych dzieci z krótkowzrocznością w wieku od 6 do 18 lat w grupie PDMSL znalazło się 4332 przypadków, a w grupie SVL – 7317 przypadków. Badania przeprowadzono w następujących krajach lub regionach: Chiny (n=5), Hongkong, Chiny (n=1), Japonia (n=1), Włochy (n=1) i Wietnam (n=1). W badaniach tych Bao *i wsp.* (^[20,27]) uwzględnili PDMSL o dwóch różnych konstrukcjach, a mianowicie soczewki wysoce asferyczne (HAL) i soczewki lekko asferyczne (SAL). Sankaridurg *i wsp.* (^[21]) uwzględnili PDMSL o trzech różnych konstrukcjach (typy 1, 2 i 3). Spośród RCT tylko dwa miały niskie ryzyko błędu systematycznego, podczas gdy pozostałe miały różne stopnie ryzyka błędu systematycznego. Badania kohortowe były ogólnie wysokiej jakości, z wynikami co najmniej 8 na 9 (ryc. 2, tabele 1-2).

Wyniki metaanalizy

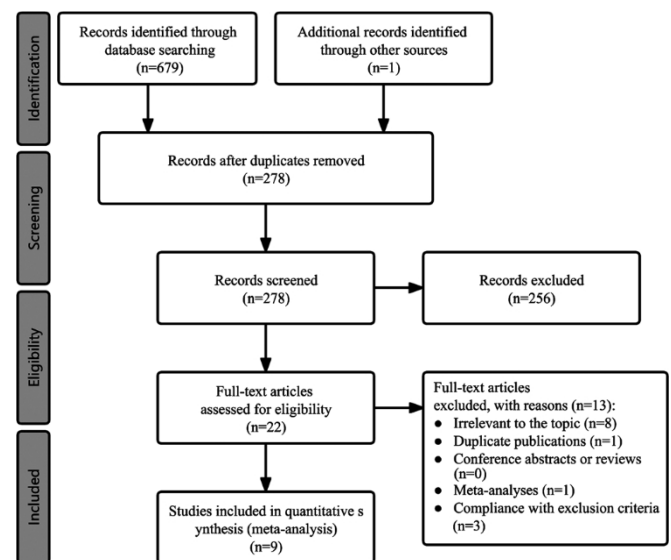
Porównanie grup PDMSL i SVL pod względem zmian SER Wśród uwzględnionych badań dziewięć badań opisywało zmiany SER jako główny wynik i porównywało różnice między PDMSL a SVL.

Metaanaliza wykazała, że zmiany SER między interwencjami z użyciem mikrosoczewek PDMSL a interwencjami z użyciem SVL nie były heterogeniczne po 6 miesiącach ($P=0,15$, $I^2=38\%$), ale były heterogeniczne po 12 miesiącach ($P=0,0003$, $I^2=79\%$), 18 miesiącach ($P=0,06$, $I^2=60\%$) i 24 miesiącach ($P=0,002$, $I^2=80\%$). Różnica w zmianach SER między grupą z mikrosoczewkami a grupą z SVL wyniosła 0,19 D (95% CI: 0,14, 0,24; $P<0,00001$), 0,36 D

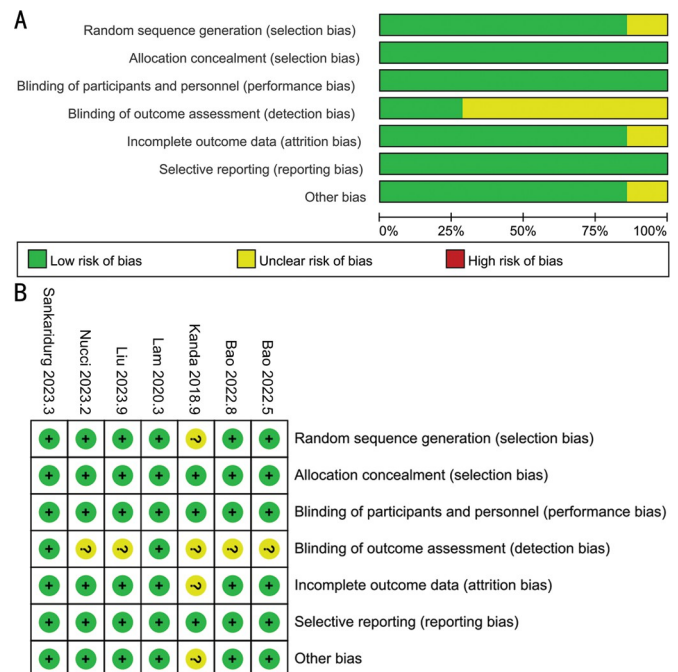
(95% CI: 0,25, 0,46; $P<0,00001$), 0,43 D (95% CI: 0,32, 0,55;

$P<0,00001$) oraz 0,51 D (95% CI: 0,33, 0,69; $P<0,00001$)

odpowiednio podczas 6-, 12-, 18- i 24-miesięcznych okresów obserwacji. Zmiany SER między interwencjami PDMSL bez mikrosoczewek a interwencjami SVL nie były heterogeniczne po 6 miesiącach ($P=0,56$, $I^2=0$) i 12 miesiącach ($P=0,62$, $I^2=0$) i nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy w zmianach SER.



Rysunek 1 Schemat PRISMA przedstawiający proces selekcji badań.



Rycina 2 Ocena ryzyka błędu systematycznego w uwzględnionych badaniach A: Wykres ryzyka błędu systematycznego; B: Podsumowanie ryzyka błędu systematycznego.

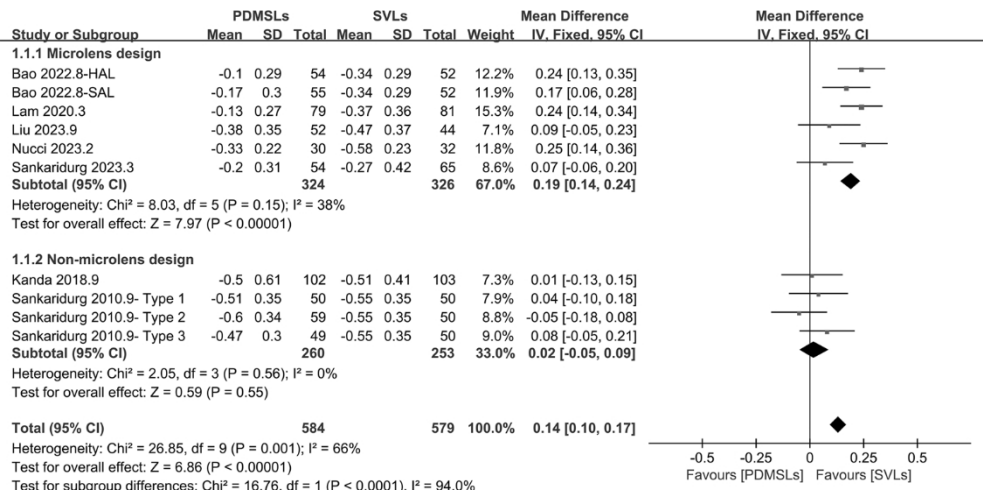
między grupą bez mikrosoczewek a grupą SVL podczas 6-miesięcznego ($P=0,55$) i 12-miesięcznego ($P=0,60$) okresu obserwacji (ryciny 3–6).

Porównanie grup PDMSL i SVL pod względem zmian długości osiowej gałki ocznej Wśród uwzględnionych badań dziewięć badań dotyczyło zmian długości osiowej gałki ocznej jako głównego wyniku i porównywało różnice między PDMSL a SVL.

Metaanaliza wykazała, że zmiany długości osiowej gałki ocznej między interwencjami z użyciem mikrosoczewek PDMSL a interwencjami z użyciem soczewek SVL były niejednorodne po 6 miesiącach ($P<0,00001$, $I^2=89\%$), 12 miesiącach ($P=0,0003$, $I^2=81\%$), 18 miesiącach ($P=0,06$, $I^2=65\%$) i 24 miesiącach ($P=0,05$,

$I^2=66\%$). Różnica w zmianach AL między grupą mikrosoczewek a grupą SVL wyniosła -0,09 mm (95% CI:

-0,13, -0,04; $P=0,0002$), -0,15 mm (95% CI: -0,21, -0,08;



Rysunek 3 Wykres Forest przedstawiający zmianę SER po 6 miesiącach noszenia okularów Po 6 miesiącach noszenia okularów grupa PDMSL z mikrosoczewkami wykazała mniejszy wzrost SER w porównaniu z grupą SVL (0,19 D), natomiast nie stwierdzono istotnej różnicy w zmianach SER między grupą PDMSL bez mikrosoczewek a grupą SVL. PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozogniskowanie peryferyjne; SVL: soczewki jednoogniskowe; SER: sferyczna refrakcja równoważna.

Tabela 1 Charakterystyka badań uwzględnionych w metaanalizie

Badanie (autor, y)	Kraj lub obszar	Badanie projekt	Projekt PDMSL		Wiek (y)	Wielkość próby	Kontynuacja czas trwania	Punkt odniesienia		Wyniki
								SER (D)	AL (mm)	
Bao 2022 ^[27]	Chiny	RCT	HAL/SAL	Projekt mikrosoczewki	HAL: 10,7±1,47; SAL: 10,1±1,48; SVL: 10,4±1,44	HAL: 54; SAL: 55; SVL: 52	6 i 12 miesięcy	HAL: -2,70±1,03; SAL: -2,31±0,96; SVL: -2,46±0,87	HAL: 24,76±0,66; SAL: 24,43±0,74; SVL: 24,77±0,65	SER, AL
Bao 2022 ^[20]	Chiny	RCT	HAL/SAL	Projekt mikrosoczewki	HAL: 10,6±1,47; SAL: 10,2±1,46; SVL: 10,4±1,40	HAL: 54; SAL: 53; SVL: 50	18 i 24 miesiące	HAL: -2,70±1,03; SAL: -2,28±0,95; SVL: -2,44±0,85	HAL: 24,76±0,66; SAL: 24,44±0,73; SVL: 24,77±0,64	SER, AL
Kanda 2018 ^[26]	Japonia	RCT	MyoVision (Typ 3)	Bez mikrosoczewek projekt	Typ 3: 9,58±1,51; SVL: 9,76±1,38	Typ 3: 102; SVL: 103	6, 12, 18 i 24 miesiące	Typ 3: -3,18±0,91; SVL: -3,36±0,92	Typ 3: 24,6±0,69; SVL: 24,7±0,72	SER, AL
Lam 2020 ^[22]	Hongkong, Chiny	RCT	DIMS	Projekt mikrosoczewki	DIMS: 10,20±1,47; SVL: 10,00±1,45	DIMS: 79; SVL: 81	6, 12, 18 i 24 miesiące	DIMS: -2,97±0,97; SVL: -2,76±0,96	DIMS: 24,70±0,82; SVL: 24,60±0,83	SER, AL
Liu 2023 ^[31]	Chiny	CT	DIMS	Projekt mikrosoczewki	DIMS: 10,31±2,36; SVL: 11,40±2,54	DIMS: 2472; SVL: 3501	12, 18 i 24 miesiące	DIMS: -2,93±1,69; SVL: -2,70±1,76	-	SER
Liu 2023 ^[30]	Chiny	RCT	CARE	Projekt mikrosoczewki	CARE: 10,1±1,0; SVL: 10,0±1,1	OPIEKA: 52; SVL: 44	6 i 12 miesięcy	CARE: -2,67±0,69; SVL: -2,56±0,75	OPIEKA: 24,65±0,67; SVL: 24,66±0,63	SER, AL
Nucci 2023 ^[29]	Włochy	CT	DIMS	Projekt mikrosoczewki	DIMS: 11,34±3,96; SVL: 13,37±2,22	DIMS: 30; SVL: 32	6 i 12 miesięcy	DIMS: -1,54±0,74; SVL: -1,97±0,68	DIMS: 24,64±0,78; SVL: 24,85±0,70	SER, AL
Sankaridurg 2010 ^[21]	Chiny	RCT	MyoVision (Typ 1/2/3)	Bez mikrosoczewek projekt	Typ 1: 10,7±2,4; typ 2: 11,1±2,2; typ 3: 11,4±2,3; SVL: 10,8±2,5	Typ 1: 50; typ 2: 59; typ 3: 49; SVL: 50	6 i 12 miesięcy	Typ 1: -1,82±0,62; typ 2: -1,81±0,67; typ 3: -1,82±0,66; SVL: -1,87±0,68	Typ 1: 24,33±0,66; typ 2: 24,47±0,70; typ 3: 24,51±0,63; SVL: 24,55±0,77	SER, AL
Sankaridurg 2023 ^[28]	Wietnam	RCT	DIMS	Projekt mikrosoczewki	DIMS: 11,2±1,6; SVL: 10,9±1,7	DIMS: 54; SVL: 65	6 miesięcy	DIMS: -3,47±1,16; SVL: -3,37±1,22	DIMS: 25,1±0,8; SVL: 24,9±0,8	SER, AL

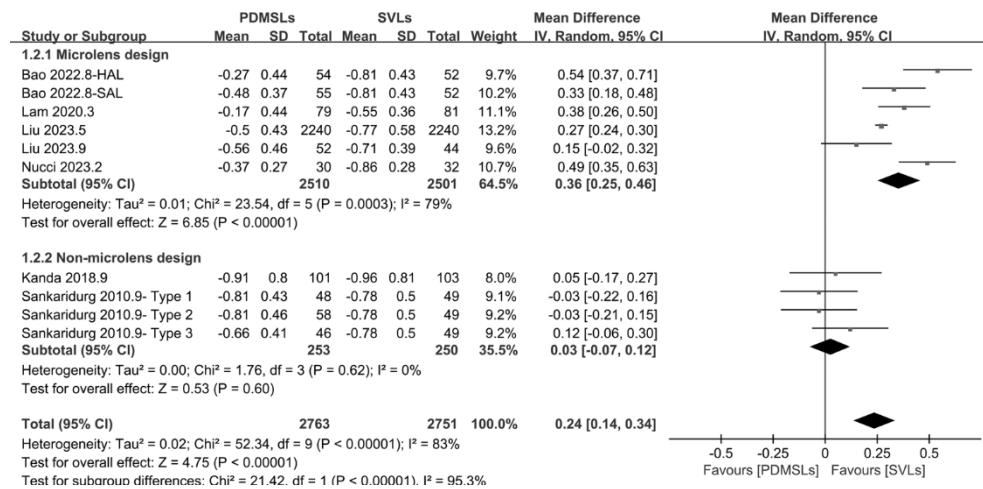
PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozogniskowanie obwodowe; SVL: soczewki jednoogniskowe; HAL: soczewki wysoce asferyczne; SAL: soczewki lekko asferyczne; DIMS: soczewki wielosegmentowe z wbudowanym rozogniskowaniem; CARE: cylindryczny pierścieniowy element refrakcyjny; SER: sferyczna refrakcja równoważna; AL: długość osiowa; RCT: randomizowane badanie kontrolowane; CT: badanie kohortowe.

Tabela 2 Ocena jakości badań kohortowych przy użyciu skali oceny jakości Newcastle-Ottawa

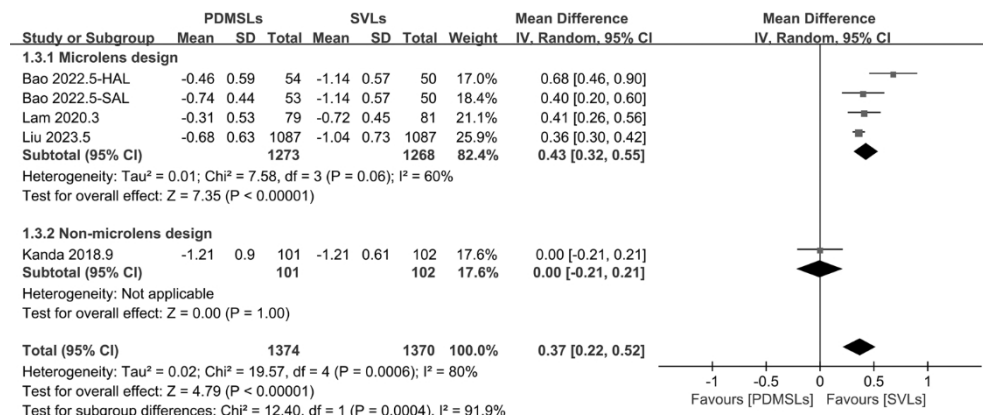
Badanie	Wybór				Porównywalność kohorty	Ekspozycja			NOS wynik
	Kohorta narażona	Niewystawiona	Narażenie	Wynik nie		Ocena	Kontynuacja		
	reprezentatywny	dobór kohorty	ustalenie	obecny na początku		ontynuacja	Kontynuacjak		
						długość	Adekwatność		
Liu 2023 ^[31]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
Nucci 2023 ^[29]	1	1	1	1	1	1	1	1	8

P<0,00001), -0,27 mm (95% CI: -0,34, -0,20; P<0,00001) oraz -0,29 mm (95% CI: -0,38, -0,20; P<0,00001) odpowiednio podczas 6-, 12-, 18 i 24 miesiącach obserwacji. Zmiany w AL między konstrukcją PDMSL bez mikrosoczewek a interwencjami SVL nie były niejednorodne

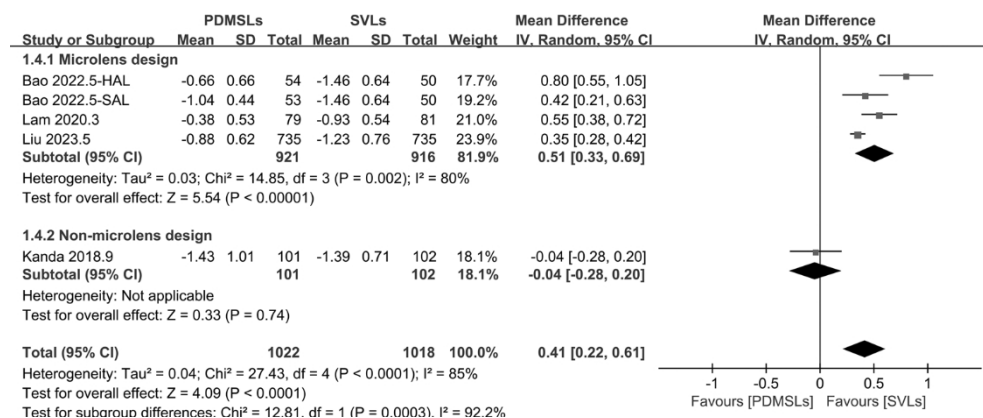
w 6. miesiącu (P=0,37, I²=5%) i 12. miesiącu (P=0,20, I²=35%), a nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy w zmianach AL między grupą bez mikrosoczewek a grupą SVL w okresie obserwacji wynoszącym 6 miesięcy (P=0,63) i 12 miesięcy (P=0,60) (ryciny 7–10).



Rysunek 4 Wykres laskowy zmian SER po 12 miesiącach noszenia okularów Po 12 miesiącach noszenia okularów grupa PDMSL z mikrosoczewkami wykazała mniejszy wzrost SER w porównaniu z grupą SVL (0,36 D), natomiast nie stwierdzono istotnej różnicy w zmianach SER między grupą PDMSL bez mikrosoczewek a grupą SVL. PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozmycie obwodowe; SVL: soczewki jednoogniskowe; SER: sferyczna refrakcja równoważna.



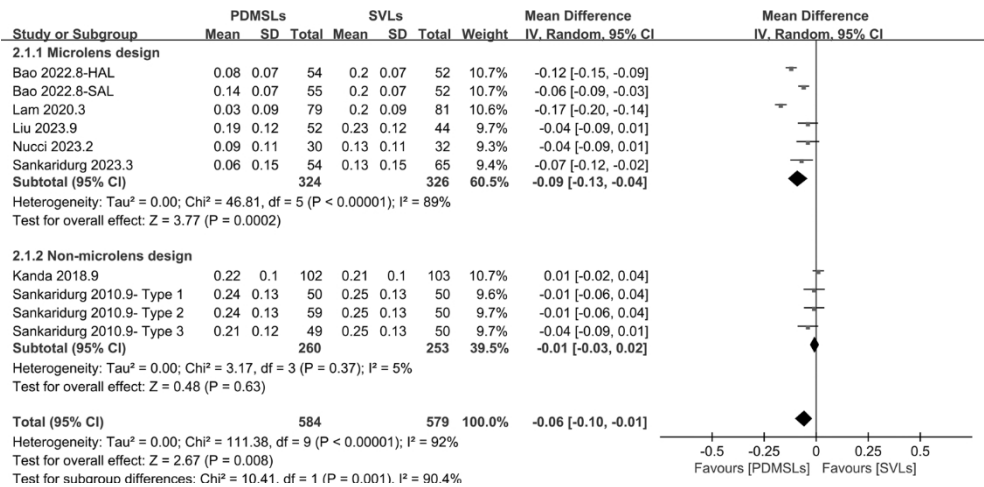
Rysunek 5 Wykres typu forest plot przedstawiający zmianę SER po 18 miesiącach noszenia okularów Po 18 miesiącach noszenia okularów grupa PDMSL z mikrosoczewkami wykazała mniejszy wzrost SER w porównaniu z grupą SVL (0,43 D). PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozmycie peryferyjne; SVL: soczewki jednoogniskowe; SER: refrakcja sferyczna równoważna.



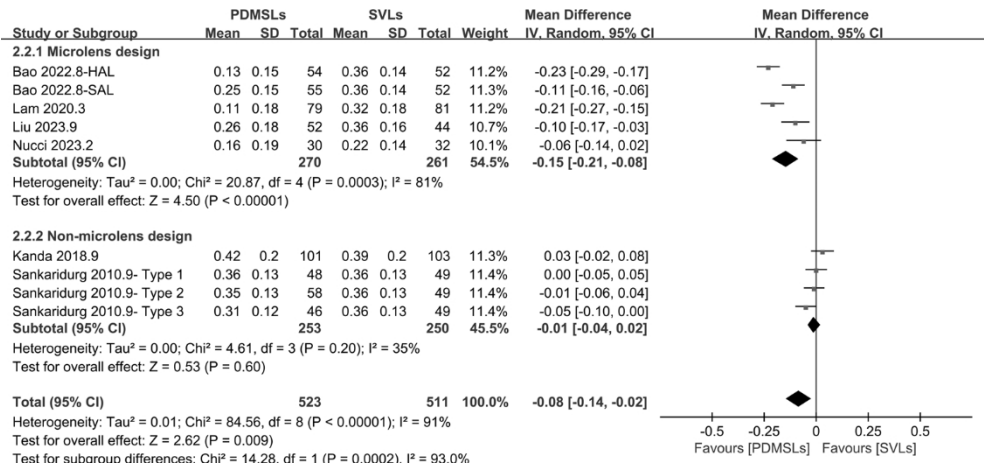
Rysunek 6 Wykres typu forest plot przedstawiający zmianę SER po 24 miesiącach noszenia okularów Po 24 miesiącach noszenia okularów grupa PDMSL z mikrosoczewkami wykazała niższy wzrost SER w porównaniu z grupą SVL (0,51 D). PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozogniskowanie peryferyjne; SVL: soczewki jednoogniskowe; SER: sferyczna refrakcja równoważna.

Analiza wrażliwości i analiza tendencji publikacji Testy wrażliwości przeprowadzono poprzez iteracyjne usuwanie poszczególnych badań, uzupełnione analizą regresji Eggera w celu oceny tendencji publikacji. Wyniki

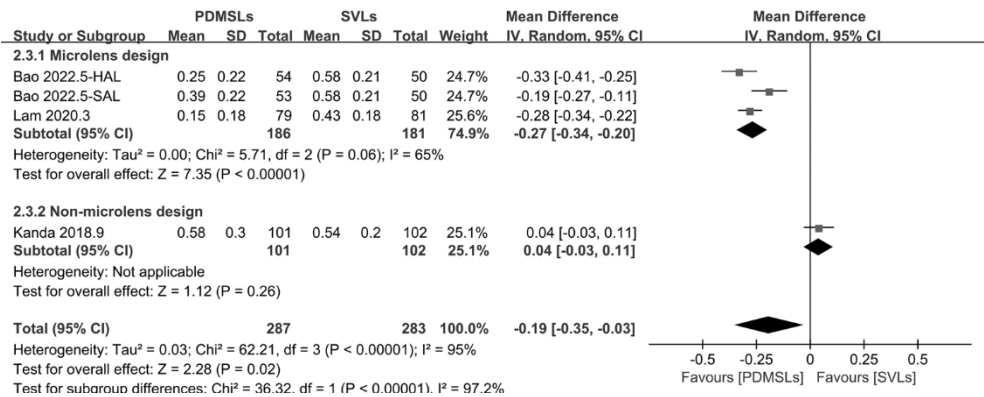
wskazały, że łączny efekt SER i AL po każdej interwencji był taki sam przed i po wyeliminowaniu literatury, co sugeruje, że łączny efekt powyższych dwóch wyników charakteryzował się dobrą stabilnością. Wyniki testu Eggera wykazały



Rycina 7 Wykres leśny przedstawiający zmianę długości osiowej oka po 6 miesiącach noszenia okularów Po 6 miesiącach noszenia okularów grupa mikrosoczewek PDMSL wykazała mniejszy przyrost długości osiowej oka w porównaniu z grupą SVL (-0,09 mm), natomiast nie stwierdzono istotnej różnicy w zmianach długości osiowej oka między grupą PDMSL bez mikrosoczewek a grupą SVL. PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozmycie obwodowe; SVL: soczewki jednoogniskowe; AL: długość osiowa.



Rycina 8 Wykres typu forest plot przedstawiający zmianę długości osiowej oka po 12 miesiącach noszenia okularów Po 12 miesiącach noszenia okularów grupa mikrosoczewek PDMSL wykazała mniejszy przyrost długości osiowej oka w porównaniu z grupą SVL (-0,15 mm), natomiast nie stwierdzono istotnej różnicy w zmianach długości osiowej oka między grupą PDMSL bez mikrosoczewek a grupą SVL. PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozmycie obwodowe; SVL: soczewki jednoogniskowe; AL: długość osiowa.



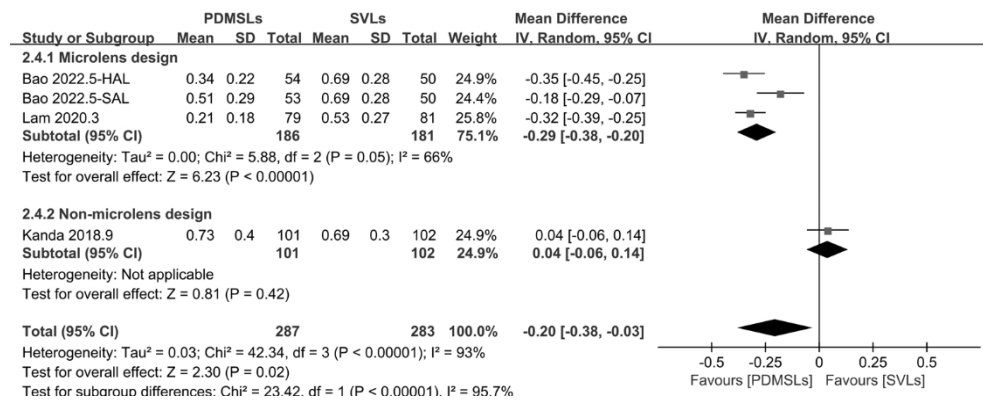
Rysunek 9 Wykres typu forest plot przedstawiający zmianę długości osiowej gałki ocznej po 18 miesiącach noszenia okularów Po 18 miesiącach noszenia okularów grupa pacjentów korzystająca z soczewek PDMSL wykazała mniejszy przyrost długości osiowej gałki ocznej w porównaniu z grupą pacjentów korzystających z soczewek SVL (-0,27 mm). PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozogniskowanie peryferijne; SVL: soczewki jednoogniskowe; AL: długość osiowa gałki ocznej.

Nie stwierdzono tendencji publikacyjnej wśród analizowanych badań (Tabela 3).

DYSKUSJA

Ze względu na zmiany w środowisku społecznym i wpływ

W związku z globalną pandemią COVID-19 dzieci i młodzież są coraz bardziej narażone na kontakt z urządzeniami elektronicznymi, co prowadzi do spadku aktywności na świeżym powietrzu^[32-33]. Częstość występowania krótkowzroczności, głównie w Azji Wschodniej, stale rośnie w wyniku AL



Rysunek 10 Wykres leśny przedstawiający zmianę długości osiowej oka po 24 miesiącach noszenia okularów Po 24 miesiącach noszenia okularów grupa mikrosoczek PDMSL wykazała mniejszy przyrost długości osiowej oka w porównaniu z grupą SVL (-0,29 mm). PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozogniskowanie peryferyjne; SVL: soczewki jednoogniskowe; AL: długość osiowa oka.

wydłużenia^[34-35]. Nieprawidłowości AL są istotnymi czynnikami ryzyka różnych zmian patologicznych związanych z krótkowzrocznością, w tym makulopatii krótkowzrocznej^[36], staphyloma twardówki^[37] i odwarstwienia siatkówki^[38]. Badania wykazały, że spowolnienie krótkowzroczności o 1 dioptrię powinno zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia u pacjenta makulopatii krótkowzrocznej o 40%⁽³⁹⁾. Ograniczenie postępu krótkowzroczności ma kluczowe znaczenie w zapobieganiu rozwojowi chorób związanych z krótkowzrocznością, niezależnie od stopnia jej zaawansowania^(38,40-41) – a tym samym zmniejsza obciążenie dla zdrowia publicznego i gospodarki związane z krótkowzrocznością^(1,18).

Obecnie interwencje kliniczne w przypadku krótkowzroczności koncentrują się głównie na trzech głównych podejściach: interwencjach behawioralnych, interwencjach optycznych i interwencjach farmakologicznych^[42-44].

Powszechnie stosowane interwencje optyczne obejmują PDMSL, ortokeratologię, miękkie soczewki kontaktowe z defokusem peryferyjnym i inne. Projekt tych produktów do interwencji optycznej opiera się głównie na teorii obwodowego rozmycia siatkówki. Poprzednie badania wykazały ujemną korelację między stopniem obwodowego rozmycia krótkowzrocznego a długością osiową oka^(27,45). Stymulacja neuronów siatkówki przez obrazy z nadwzrocznym rozmyciem może sprzyjać wzrostowi długości osiowej, podczas gdy sygnały rozmycia krótkowzrocznego mogą hamować ten wzrost⁽⁴⁶⁻⁴⁷⁾. W ludzkim oku siatkówka obwodowa ma mniejszą gęstość neuronów w porównaniu z obszarem plamki żółtej, ale ogólnie większą liczbę neuronów⁽⁴⁷⁾. Dlatego zmiany krótkowzroczności są ściślej związane z refrakcją obwodową. Pogląd ten został szeroko potwierdzony w badaniach na zwierzętach w których uczestniczyły pisklęta⁽⁴⁸⁻⁵⁰⁾, świnki morskie⁽⁵¹⁾ i makaki⁽⁵²⁾. Wczesne projekty soczewek PDMSL nie były projektami mikrosoczek, ale obejmowały projekty symetryczne obrotowo lub asymetryczne^(16,21). Projekty te składały się z centralnej strefy optycznej i strefy rozogniskowanej utworzonej poprzez zmianę krzywizny powierzchni soczewki. Jednak skuteczność tego typu konstrukcji soczewek budzi pewne kontrowersje. Badanie⁽²¹⁾ wykazało, że soczewki typu 3 (asymetryczna konstrukcja) mają pozytywny wpływ na dzieci, których rodzice są krótkowzroczni. Badanie Kandy i innych⁽¹⁶⁾ wykazało, że

że nie stwierdzono istotnej różnicy w kontroli krótkowzroczności między soczewkami typu 3 a soczewkami SVL. Nasze badania wykazały, że nie ma istotnej różnicy między soczewkami PDMSL bez mikrosoczek a soczewkami SVL w zakresie kontroli krótkowzroczności u dzieci i młodzieży, co jest zgodne z wnioskami z badania Kandy i wsp.^[16].

W ostatnich latach naukowcy zaproponowali ulepszenie konstrukcji PDMSL poprzez zastosowanie mikrosoczek^[22,27,30]. PDMSL z mikrosoczewkami również składają się z centralnego obszaru optycznego i obwodowego obszaru rozogniskowania. W zależności od konstrukcji mikrosoczek wyróżnia się trzy główne formy konstrukcyjne: konfiguracje koncentrycznych pierścieni, konfiguracje plastra miodu oraz pierścieniowe układy mikrocyldrów. Konstrukcję pierścieni koncentrycznych reprezentują soczewki SAL i HAL, konstrukcję plastra miodu – soczewki DIMS (defocus incorporated multiple segments), a konstrukcję pierścieniową z mikrocyldrami – soczewki CARE (cylindrical annular refractive element). Aktualne badania sugerują, że soczewki PDMSL z mikrosoczewkami zapewniają lepszą kontrolę krótkowzroczności w porównaniu z soczewkami SVL^(20,22,27-31). Badanie⁽²⁷⁾ wykazało, że 20% użytkowników HAL doświadczyło przesunięcia w kierunku nadwzroczności, a 24% doświadczyło zmniejszenia długości osiowej gałki ocznej (AL), podczas gdy zjawisko to nie zostało zaobserwowane w grupie SVL. Inne badanie wykazało, że krótkotrwałe zmiany SER i AL mogą być związane ze zmianami grubości naczyniówki⁽⁵³⁻⁾⁽⁵⁴⁾. Badania Zhanga i wsp.⁽⁵⁵⁾ wykazały symetryczne obwodowe rozogniskowanie krótkowzroczności między siatkówką nosową a skroniową w grupie DIMS, podczas gdy w grupie SVL zaobserwowano zmiany asymetryczne. Dlatego Zhang i wsp.⁽⁵⁵⁾ spekulowali, że kontrola rozwoju krótkowzroczności przez DIMS może być związana z profilem refrakcji obwodowej i względnymi zmianami refrakcji obwodowej. Nasze wyniki wykazały również skuteczność soczewek PDMSL z mikrosoczewkami w kontrolowaniu krótkowzroczności. Należy jednak zauważyć, że w podgrupach projektów mikrosoczek występuje heterogeniczność, którą można przypisać różnicom w ich właściwościach optycznych. Ta spekulacja jest

Tabela 3 Analiza wrażliwości i analiza tendencyjności publikacji

Wskaźniki metaanalizy	Okres obserwacji Czas trwania	Podgrupa	Wykluczenie z badania	Analiza wrażliwości				Publikacja błąd systematyczny, test Eggera (P)
				MD	95% CI	Z	p	
Porównanie PDMSL i SVL grupy na zmianę SER	6 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,8-HAL	0,18	0,13, 0,23	6,80	<0,00001	0,0699
			Bao 2022,8-SAL	0,20	0,14, 0,25	7,40	<0,00001	
			Lam 2020,3	0,18	0,12, 0,23	6,47	<0,00001	
			Liu 2023,9	0,20	0,15, 0,25	8,01	<0,00001	
			Nucci 2023,2	0,18	0,13, 0,23	6,67	<0,00001	
			Sankaridurg 2023,3	0,21	0,16, 0,26	8,14	<0,00001	
		Konstrukcja bez mikrosoczewek	Kanda 2018,9	0,02	-0,05, 0,10	0,60	0,55	0,9478
			Sankaridurg 2010.9-typ 1	0,01	-0,06, 0,09	0,36	0,72	
			Sankaridurg 2010.9-typ 2	0,05	-0,03, 0,12	1,15	0,25	
			Sankaridurg 2010.9-typ 3	-0,00	-0,08, 0,08	0,05	0,96	
	12 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,8-HAL	0,32	0,23, 0,42	6,70	<0,00001	0,6335
			Bao 2022,8-SAL	0,36	0,24, 0,48	5,87	<0,00001	
			Lam 2020,3	0,35	0,23, 0,47	5,63	<0,00001	
			Liu 2023,5	0,38	0,26, 0,50	6,13	<0,00001	
			Liu 2023,9	0,39	0,28, 0,50	6,82	<0,00001	
			Nucci 2023,2	0,33	0,23, 0,43	6,40	<0,00001	
		Konstrukcja bez mikrosoczewek	Kanda 2018,9	0,02	-0,09, 0,13	0,38	0,71	0,8145
			Sankaridurg 2010.9-typ 1	0,05	-0,07, 0,16	0,81	0,42	
			Sankaridurg 2010.9-typ 2	0,05	-0,07, 0,16	0,82	0,41	
			Sankaridurg 2010.9-typ 3	-0,01	-0,12, 0,10	0,16	0,87	
	18 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,5-HAL	0,37	0,32, 0,42	13,95	<0,00001	0,2393
			Bao 2022,5-SAL	0,45	0,30, 0,61	5,74	<0,00001	
			Lam 2020,3	0,46	0,28, 0,63	5,10	<0,00001	
			Liu 2023,5	0,48	0,32, 0,65	5,80	<0,00001	
	24 miesiące	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,5-HAL	0,42	0,29, 0,55	6,43	<0,00001	0,1868
			Bao 2022,5-SAL	0,54	0,30, 0,78	4,40	<0,0001	
			Lam 2020,3	0,50	0,26, 0,75	4,03	<0,0001	
			Liu 2023,5	0,58	0,39, 0,77	5,87	<0,00001	
Porównanie PDMSL i SVL grupy na zmianę w AL	6 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,8-HAL	-0,08	-0,14, -0,02	2,65	0,008	0,1815
			Bao 2022,8-SAL	-0,09	-0,14, -0,04	3,53	0,0004	
			Lam 2020,3	-0,07	-0,10, -0,03	3,96	<0,00001	
			Liu 2023,9	-0,09	-0,14, -0,05	3,84	0,0001	
			Nucci 2023,2	-0,09	-0,14, -0,05	3,81	0,0001	
			Sankaridurg 2023,3	-0,09	-0,14, -0,04	3,44	0,0006	
		Konstrukcja bez mikrosoczewek	Kanda 2018,9	-0,02	-0,05, 0,01	1,38	0,17	0,2792
			Sankaridurg 2010.9-typ 1	-0,01	-0,04, 0,02	0,51	0,61	
			Sankaridurg 2010.9-typ 2	-0,01	-0,04, 0,02	0,50	0,61	
			Sankaridurg 2010.9-typ 3	0,00	-0,02, 0,02	0,23	0,82	
	12 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,8-HAL	-0,12	-0,19, -0,06	3,80	0,0001	0,1566
			Bao 2022,8-SAL	-0,15	-0,23, -0,08	3,93	<0,00001	
			Lam 2020,3	-0,13	-0,20, -0,05	3,38	0,0007	
			Liu 2023,9	-0,16	-0,23, -0,08	4,14	<0,00001	
			Nucci 2023,2	-0,16	-0,23, -0,10	4,91	<0,00001	
			Kanda 2018,9	-0,02	-0,05, 0,01	1,33	0,18	0,2601
		Konstrukcja bez mikrosoczewek	Sankaridurg 2010.9-typ 1	-0,01	-0,06, 0,03	0,49	0,62	
			Sankaridurg 2010.9-typ 2	-0,01	-0,05, 0,04	0,33	0,74	
			Sankaridurg 2010.9-typ 3	0,01	-0,02, 0,04	0,34	0,73	
	18 miesięcy	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,5-HAL	-0,24	-0,33, 0,15	5,38	<0,00001	0,8856
			Bao 2022,5-SAL	-0,30	-0,34, -0,25	12,53	<0,00001	
			Lam 2020,3	-0,26	-0,40, -0,12	3,72	0,0002	
	24 miesiące	Projekt mikrosoczewki	Bao 2022,5-HAL	-0,26	-0,39, -0,12	3,68	0,0002	0,5559
			Bao 2022,5-SAL	-0,33	-0,39, -0,27	11,30	<0,00001	
			Lam 2020,3	-0,27	-0,43, -0,10	3,14	0,002	

PDMSL: soczewki okularowe modyfikujące rozmycie na obrzeżach; SVL: soczewki jednoogniskowe; HAL: soczewki o wysokim stopniu asferyczności; SAL: soczewki o niewielkim stopniu asferyczności

soczewki; SER: sferyczna refrakcja równoważna; AL: długość osiowa; MD: średnia różnica; CI: przedział ufności.

potwierdzone innymi wynikami badań. Badania Li *i* wsp. ^[56] wykazały, że soczewki HAL i DIMS mogą powodować zmniejszenie czułości kontrastowej i ostrości widzenia. Soczewki HAL mają lepszą funkcję transferu modulacji w porównaniu z soczewkami DIMS, co wskazuje na lepszą wydajność optyczną, którą można przypisać efektom dyfrakcji spowodowanym różnicami w średnicach mikrosoczewek między soczewkami HAL i DIMS ^[56-57]. Najnowsze badania wskazują, że soczewki HAL mają większą strefę funkcjonalną do wywoływania obwodowego rozmycia obrazu w porównaniu z soczewkami DIMS, co potencjalnie prowadzi do skuteczniejszej kontroli krótkowzroczności ^[26]. Badanie to ma jednak pewne ograniczenia, ponieważ nie omawia wpływu czynników zakłócających, takich jak czas spędzany na świeżym powietrzu, czas pracy w bliskiej odległości, krótkowzroczność rodziców i czas noszenia okularów w ciągu dnia. Badanie Sng *i* wsp. ^[58] przeprowadzone w Singapurze wykazało różnice w mocy refrakcyjnej obwodowej u osób z krótkowzrocznością o różnym stopniu. Ponadto badanie Liu *i* wsp. ^[31] wykazało, że skuteczność kontroli krótkowzroczności zapewniana przez soczewki DIMS stopniowo maleje wraz ze wzrostem stopnia krótkowzroczności. Dlatego też konieczna jest dalsza weryfikacja w celu ustalenia, czy istnieją różnice w kontroli krótkowzroczności między soczewkami HAL a soczewkami DIMS.

Różnica w parametrach optycznych między soczewkami PDMSL i SVL powoduje zmiany w jakości widzenia. Kiedy dzieci decydują się na stosowanie soczewek DIMS w młodszym wieku, mogą dostosować się do zmian w jakości widzenia spowodowanych noszeniem okularów przez krótszy czas ^[59]. Jednak badania wykazały, że noszenie soczewek PDMSL lub SVL nie wpływa na heteroforię, reakcję akomodacyjną ani amplitudę akomodacyjną użytkownika ^[60-61]. Dzieci z przerywaną egzotropią noszące soczewki HAL mogą nadal zachować dobrą funkcję fuzji ^[60]. Dwa trzyletnie badania kontrolne wykazały długoterminową skuteczność soczewek PDMSL z mikrosoczewkami w kontroli krótkowzroczności ^[62-63]. Ponadto kładzenie nacisku na dobre nawyki podczas noszenia soczewek i poprawa przestrzegania zaleceń może również zwiększyć skuteczność kontroli krótkowzroczności ^[30]. Zostało to potwierdzone w powiązanych badaniach dotyczących miękkich soczewek kontaktowych z defokusem ^[64]. Nucci *i* wsp. ^[29] uważali, że soczewki PDMSL w połączeniu z atropiną o niskim stężeniu mogą zapewnić lepszy efekt kontroli krótkowzroczności. Jednak atropina o niskim stężeniu nie tylko wykazuje dobre działanie kontrolujące krótkowzroczność, ale także powoduje efekt odbicia po odstawieniu, na co powinni zwrócić szczególną uwagę okuliści lub optycy ^[65-66]. Niektórzy badacze sugerowali, że stopniowe zmniejszanie dawki leku może pomóc w uniknięciu efektu odbicia atropiny ^[67]. Dla porównania, kontrola krótkowzroczności poprzez poprawę sygnałów optycznego rozmycia obwodowego siatkówki rzadziej powoduje efekt odbicia po zaprzestaniu stosowania ^[29,68]. Potwierdzają to dowody dotyczące efektów kontroli krótkowzroczności miękkich soczewek kontaktowych z rozmyciem obwodowym ^[69]. W przypadku PDMSL, badanie Sankaridurga *i* wsp. ^[28]

wykazało, że po zaprzestaniu stosowania PDMSL nie nastąpił nawrót krótkowzroczności u dzieci.

Badanie Huang *i* wsp. ^[23], przeprowadzone za pomocą metaanalizy sieciowej, wykazało, że PDMSL mają słabszy wpływ na kontrolę krótkowzroczności niż SVL. Interwencja PDMSL zmniejszyła SER i AL o 0,12 D/rok (95% CI: -0,24, 0,47) i -0,05 mm/rok (95% CI: -0,15, 0,05). Badanie Ma *i* wsp. ^[24] wykazało, że dzieci noszące PDMSL odnotowały spadek progresji SER o 0,20 D/rok (95% CI: 0,05, 0,35) oraz zmniejszenie wydłużenia AL o -0,08 mm/rok (95% CI: -0,18, 0,01) w porównaniu z dziećmi noszącymi SVL. W przeciwieństwie do tego, nasze badania pokazują, że wpływ PDMSL zaprojektowanych przez mikrosoczewki na kontrolowanie SER i AL u dzieci i młodzieży wzrasta o 0,36 D/rok (95% CI: 0,25, 0,46) i -0,15 mm/rok (95% CI: -0,21, -0,08), odpowiednio, co jest wynikiem lepszym niż w badaniu Huang *i* wsp. ^[23]. Biorąc pod uwagę, że badanie Huang *i* wsp. ^[23] zostało opublikowane w 2016 r., różnice między naszym badaniem a ich badaniem można przypisać zmianom w konstrukcji soczewek PDMSL w ostatnich latach oraz publikacji nowych badań. Ponadto wzięliśmy pod uwagę refrakcję obwodową i charakterystykę konstrukcji defokusa soczewek PDMSL i podzieliśmy je na dwie podgrupy: konstrukcję z mikrosoczewkami i konstrukcję bez mikrosoczewek. Dzięki tej klasyfikacji stwierdziliśmy, że soczewki PDMSL z mikrosoczewkami uwzględnione w naszym badaniu miały lepszy wpływ na kontrolę krótkowzroczności w porównaniu z soczewkami PDMSL bez mikrosoczewek. Z drugiej strony, badanie Ma *i* wsp. ^[24] podzieliło podgrupy na podstawie regionów badawczych, nie uwzględniając różnic w konstrukcji soczewek, co może wyjaśniać różnice w wynikach między naszym badaniem a ich badaniem.

Badanie to ma pewne ograniczenia: 1) W badaniu przeszukiwano wyłącznie angielskie bazy danych, co może prowadzić do stronniczości językowej. 2) Większość okresu obserwacji objętego badaniem wynosiła mniej niż 12 miesięcy i nie przeprowadzono badania dotyczącego wpływu długotrwałego noszenia soczewek na kontrolę krótkowzroczności. 3) W badaniu porównano jedynie wpływ soczewek PDMSL i SVL na kontrolę krótkowzroczności, pomijając inne metody kontroli krótkowzroczności.

Podsumowując, zebrane dowody wskazują na lepsze wyniki leczenia krótkowzroczności przy użyciu soczewek PDMSL z mikrosoczewkami w porównaniu z soczewkami SVL i soczewkami PDMSL bez mikrosoczewek u dzieci i młodzieży.

PODZIĘKOWANIA

Fundacje: Wsparcie w ramach planu naukowo-technologicznego prowincji Syczuan (nr 2023YFS0506); projektu badań medycznych dzielnicy Jinniu w Chengdu w prowincji Syczuan (nr JNKY2024-94); programu stypendialnego Xinglin Scholar na Uniwersytecie Tradycyjnej Medycyny Chińskiej w Chengdu (nr ZYTS2023028).

Konflikt interesów: Fan HB, brak; Li ZL, brak; Zhang XM, brak; Xie AR, brak; Wei QM, brak; Song TT, brak; Duan JG, brak.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Holden BA, Fricke TR, Wilson DA i in. Globalna częstość występowania krótkowzroczności i wysokiej krótkowzroczności oraz trendy czasowe w latach 2000–2050. *Ophthalmology* 2016;123(5):1036-1042.
- 2 Li SM, Ran AR, Kang MT, et al. Wpływ wysyłania wiadomości tekstowych do rodziców dzieci w wieku szkolnym na czas spędzany na świeżym powietrzu w celu kontroli krótkowzroczności: randomizowane badanie kliniczne. *JAMA Pediatr* 2022;176(11):1077-1083.
- 3 He X, Sankaridurg P, Wang J, et al. Czas spędzany na świeżym powietrzu a zmniejszenie krótkowzroczności: randomizowane badanie klastrowe przeprowadzone w szkołach z obiektywnym monitorowaniem czasu spędzanego na świeżym powietrzu i natężenia światła. *Ophthalmology* 2022;129(11):1245-1254.
- 4 Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al. Zapobieganie krótkowzroczności a natężenie światła na zewnątrz w randomizowanym badaniu klastrowym przeprowadzonym w szkołach. *Ophthalmology* 2018;125(8):1239-1250.
- 5 Huang PC, Hsiao YC, Tsai CY i in. Zachowania ochronne związane z pracą w bliskiej odległości i czasem spędzonym na świeżym powietrzu a częstość występowania i postęp krótkowzroczności u dzieci z krótkowzrocznością: 2-letnie prospektywne badanie populacyjne. *Br J Ophthalmol* 2020;104(7):956-961.
- 6 Harrington S, O'Dwyer V. Związek między czasem spędzonym przed ekranem a czytaniem a krótkowzrocznością, przedkrótkowzrocznością oraz pomiarami biometrycznymi i antropometrycznymi oczu u 6-7-letnich uczniów w Irlandii. *Ophthalmic Physiol Opt* 2023;43(3):505-516.
- 7 Pan CW, Wu RK, Liu H, et al. Rodzaje lamp do odrabiania zadań domowych a krótkowzroczność wśród chińskich dzieci w wieku szkolnym. *Ophthalmic Epidemiol* 2018;25(3):250-256.
- 8 Liu XN, Naduvilath TJ, Sankaridurg PR. Krótkowzroczność i sen u dzieci – przegląd systematyczny. *Sleep* 2023;46(11):zsad162.
- 9 Rudnicka AR, Kapetanakis VV, Wathern AK, et al. Globalne różnice i trendy czasowe w częstości występowania krótkowzroczności u dzieci, przegląd systematyczny i metaanaliza ilościowa: implikacje dla etiologii i wczesnej profilaktyki. *Br J Ophthalmol* 2016;100(7):882-890.
- 10 Vitale S, Sperduto RD, Ferris FL 3rd. Zwiększona częstość występowania krótkowzroczności w Stanach Zjednoczonych w latach 1971-1972 i 1999-2004. *Arch Ophthalmol* 2009;127(12):1632-1639.
- 11 Williams KM, Bertelsen G, Cumberland P, et al. Rosnąca częstość występowania krótkowzroczności w Europie i wpływ edukacji. *Okulistyka* 2015;122(7):1489-1497.
- 12 Hoogerheide J, Rempt F, Hoogenboom WP. Nabyta krótkowzroczność u młodych pilotów. *Ophthalmologica* 1971;163(4):209-215.
- 13 Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J. Względna peryferyjna hiperopijna defokusa zmienia rozwój refrakcji centralnej u niemowląt małp. *Vision Res* 2009;49(19):2386-2392.
- 14 Smith EL, Hung LF, Huang J, et al. Wpływ lokalnego defokusa krótkowzrocznego na rozwój refrakcji u małp. *Optom Vis Sci* 2013;90(11):1176-1186. 15 Qi LS, Yao L, Wang XF i in. Względna refrakcja obwodowa i jego rola w powstawaniu krótkowzroczności u nastoletnich uczniów. *Int J Ophthalmol* 2018;62(5):537-543.
- 16 Kanda H, Oshika T, Hiraoka T, et al. Wpływ soczewek okularowych zaprojektowanych w celu zmniejszenia względnej nadwzroczności obwodowej na postęp krótkowzroczności u japońskich dzieci: 2-letnie wielośrodkowe randomizowane badanie kontrolowane. *Jpn J Ophthalmol* 2018;62(5):537-543.
- 17 Choo JD, Holden BA. Zapobieganie krótkowzroczności za pomocą soczewek kontaktowych. *Eye Contact Lens Sci Clin Pract* 2007;33(6):371-372.
- 18 Jonas JB, Ang M, Cho P, et al. Zapobieganie krótkowzroczności i jej postępowi za pomocą IMI. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021;62(5):6.
- 19 Charman WN, Radhakrishnan H. Refrakcja obwodowa a rozwój wad refrakcji: przegląd. *Ophthalmic Physiol Opt* 2010;30(4):321-338.
- 20 Bao J, Huang Y, Li X, et al. Soczewki okularowe z asferycznymi soczewkami do kontroli krótkowzroczności w porównaniu z soczewkami okularowymi jednoogniskowymi: randomizowane badanie kliniczne. *JAMA Ophthalmol* 2022;140(5):472-478.
- 21 Sankaridurg P, Donovan L, Varnas S, et al. Soczewki okularowe zaprojektowane w celu ograniczenia postępu krótkowzroczności: wyniki po 12 miesiącach. *Optom Vis Sci* 2010;87(9):631-641.
- 22 Lam CSY, Tang WC, Tse DY i in. Soczewki okularowe z wbudowanym defokusem wielosegmentowym (DIMS) spowalniają postęp krótkowzroczności: 2-letnie randomizowane badanie kliniczne. *Br J Ophthalmol* 2020;104(3):363-368.
- 23 Huang J, Wen D, Wang Q, et al. Porównanie skuteczności 16 metod kontroli krótkowzroczności u dzieci: metaanaliza sieciowa. *Ophthalmology* 2016;123(4):697-708.
- 24 Ma JX, Tian SW, Liu QP. Skuteczność soczewek okularowych z peryferyjnym rozogniskowaniem w kontroli krótkowzroczności: metaanaliza i przegląd systematyczny. *Int J Ophthalmol* 2022;15(10):1699-1706.
- 25 Moher D, Shamseer L, Clarke M, et al. Preferowane elementy raportowania dla protokołów przeglądów systematycznych i metaanaliz (PRISMA-P) – oświadczenie z 2015 r. *Syst Rev* 2015;4(1):1.
- 26 Guo H, Li XF, Zhang XX, et al. Porównanie wpływu soczewek o wysokim stopniu asferyczności z soczewkami okularowymi z wieloma segmentami i defokusem na kontrolę krótkowzroczności. *Sci Rep* 2023;13(1):3048.
- 27 Bao J, Yang A, Huang Y, et al. Skuteczność kontroli krótkowzroczności przez rok stosowania soczewek okularowych z soczewkami asferycznymi. *Br J Ophthalmol* 2022;106(8):1171-1176.
- 28 Sankaridurg P, Weng R, Tran H, et al. Soczewki okularowe z wysoce asferycznymi soczewkami do spowalniania krótkowzroczności: randomizowane, podwójnie ślepe, krzyżowe badanie kliniczne: część tych danych została przedstawiona w formie plakatu podczas corocznego spotkania poświęconego badaniom w dziedzinie wzroku i okulistyki w 2022 r. *Am J Ophthalmol* 2023;247:18-24.
- 29 Nucci P, Lembo A, Schiavetti I, et al. Porównanie kontroli krótkowzroczności u europejskich dzieci i młodzieży przy użyciu okularów z wieloma segmentami z wbudowanym defokusem (DIMS), atropiny i kombinacji DIMS/atropiny. *PLoS One* 2023;18(2):e0281816.
- 30 Liu X, Wang P, Xie Z, et al. Skuteczność kontroli krótkowzroczności przez rok stosowania cylindrycznych soczewek okularowych z pierścieniowym elementem refrakcyjnym. *Acta Ophthalmol* 2023;101(6):651-657.
- 31 Liu J, Lu Y, Huang D, et al. Skuteczność soczewek wielosegmentowych z wbudowanym defokusem w spowalnianiu postępu krótkowzroczności: wyniki z różnych warunków klinicznych. *Ophthalmology* 2023;130(5):542-550.
- 32 Najafzadeh MJ, Zand A, Shafiei M, et al. Postęp krótkowzroczności w dobie COVID-19: przegląd systematyczny i metaanaliza. *Semin Ophthalmol* 2023;38(6):537-546.

- 33 Li M, Xu L, Tan CS, *et al.* Przegląd systematyczny i metaanaliza wpływu stylu życia związanego z pandemią COVID-19 na krótkowzroczność. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2022;11(5):470-480.
- 34 Morgan IG, French AN, Ashby RS, *et al.* Epidemia krótkowzroczności: etiologia i profilaktyka. *Prog Retin Eye Res* 2018;62:134-149.
- 35 Baird PN, Saw SM, Lanca C, *et al.* Krótkowzroczność. *Nat Rev Dis Primers* 2020;6:99.
- 36 Ohno-Matsui K, Kawasaki R, Jonas JB *in.* Międzynarodowy system klasyfikacji i oceny fotograficznej makulopatii krótkowzrocznej. *Am J Ophthalmol* 2015;159(5):877-83.e7.
- 37 Ohno-Matsui K, Jonas JB. Tylne staphyloma w patologicznej krótkowzroczności. *Prog Retin Eye Res* 2019;70:99-109.
- 38 Bullimore MA, Ritchey ER, Shah S, *et al.* Ryzyko i korzyści związane z kontroli krótkowzroczności. *Ophthalmology* 2021;128(11):1561-1579.
- 39 Bullimore MA, Brennan NA. Kontrola krótkowzroczności: dlaczego każda dioptria ma znaczenie. *Optom Vis Sci* 2019;96(6):463-465.
- 40 Du R, Xie S, Igarashi-Yokoi T, *et al.* Ciągły wzrost długości osiowej i czynniki ryzyka u dorosłych z wysoką krótkowzrocznością. *JAMA Ophthalmol* 2021;139(10):1096-1103.
- 41 Shinojima A, Negishi K, Tsubota K, *et al.* Wieloczynnikowe przyczyny krótkowzroczności i możliwe metody leczenia: mini przegląd. *Front Public Health* 2022;10:897600.
- 42 Brennan NA, Toubouti YM, Cheng X, *et al.* Skuteczność w kontroli krótkowzroczności. *Prog Retin Eye Res* 2021;83:100923.
- 43 Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, *et al.* Czynniki ryzyka krótkowzroczności IMI. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021;62(5):3.
- 44 Dhiman R, Rakheja V, Gupta V, *et al.* Aktualne koncepcje w leczeniu krótkowzroczności u dzieci. *Indian J Ophthalmol* 2022;70(8): 2800-2815.
- 45 Tang WT, Luo XN, Zhao WJ, *et al.* Wyniki rocznej kontroli krótkowzroczności za pomocą ortokorekcji z różnymi średnicami tylnej strefy optycznej: randomizowane badanie z wykorzystaniem nowatorskiego topografu wielospektralnego. *Int J Ophthalmol* 2024;17(2):324-330.
- 46 Russo A, Boldini A, Romano D, *et al.* Krótkowzroczność: mechanizmy i strategię spowolnienia jej postępu. *J Ophthalmol* 2022;2022:1004977.
- 47 Wallman J, Winawer J. Homeostaza wzrostu oka a kwestia krótkowzroczności. *Neuron* 2004;43(4):447-468.
- 48 Irving EL, Yakobchuk-Stanger C. Soczewki kontrolujące postęp krótkowzroczności odwracają indukowaną krótkowzroczność u piskląt. *Ophthalmic Physiol Opt* 2017;37(5):576-584.
- 49 El-Nimri NW, Zhang H, Wildsoet CF. Wpływ noszenia w niepełnym wymiarze godzin dwuogniskowych soczewek okularowych z dwoma strefami koncentrycznymi na rozwój wad refrakcji i wzrost gałki ocznej u młodych kurcząt. *Exp Eye Res* 2019;180:184-191.
- 50 Nickla DL, Thai P, Zanzerkia Trahan R, *et al.* Wieczorne rozogniskowanie krótkowzroczne skuteczniej hamuje wzrost oka niż rozogniskowanie poranne: wpływ na rytmy długości osiowej i grubości naczyniówki u piskląt. *Exp Eye Res* 2017;154:104-115.
- 51 McFadden SA, Tse DY, Bowrey HE, *et al.* Integracja defokusa przez soczewek Fresnela o podwójnej mocy hamuje krótkowzroczność u ssaków. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(2):908-917.
- 52 Smith EL III, Arumugam B, Hung LF, *et al.* Zależne od ekscentryczności skutki jednoczesnego konkurencyjnego rozmycia obrazu na emmetropizację u niemowląt małp rhesus. *Vis Res* 2020;177:32-40.
- 53 Wu H, Liu M, Wang Y, *et al.* Krótkotrwałe zmiany w naczyniówce jako wczesne wskaźniki przyszłego przesunięcia krótkowzroczności u dzieci w wieku szkolnym: wyniki 2-letniego badania kohortowego. *Br J Ophthalmol* 2025;109(2):273-280.
- 54 Chakraborty R, Read SA, Collins MJ. Monokularna defokusa krótkowzroczna a codzienne zmiany długości osiowej i grubości naczyniówki ludzkiego oka. *Exp Eye Res* 2012;103:47-54.
- 55 Zhang HY, Lam CSY, Tang WC, *et al.* Soczewki okularowe z defokusem zawierające wiele segmentów zmieniły względną refrakcję obwodową: 2-letnie randomizowane badanie kliniczne. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020;61(5):53.
- 56 Li X, Ding C, Li Y, *et al.* Wpływ konfiguracji soczewek na krótkoterminową wydajność wzrokową w soczewkach okularowych kontrolujących krótkowzroczność. *Front Neurosci* 2021;15:667329.
- 57 Jaskulski M, Singh NK, Bradley A, *et al.* Właściwości optyczne i obrazowe nowatorskich soczewek okularowych z wieloma segmentami, zaprojektowanych w celu spowolnienia postępu krótkowzroczności. *Ophthalmic Physiol Opt* 2020;40(5):549-556.
- 58 Sng CC, Lin XY, Gazzard G, *et al.* Refrakcja obwodowa i wady refrakcji u chińskich dzieci w Singapurze. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52(2):1181-1190.
- 59 Lu Y, Lin Z, Wen L, *et al.* Adaptacja i akceptacja soczewek wielosegmentowych z defokusem przez chińskie dzieci. *Am J Ophthalmol* 2020;211:207-216.
- 60 Fengchao Z, Xue L, Yingying H, *et al.* Wpływ soczewek okularowych z wysoce asferycznymi soczewkami na widzenie oboczne i akomodację u dzieci z krótkowzrocznością, z przerywaną egzotropią i bez niej. *J Ophthalmol* 2022;2022:9306848.
- 61 Huang Y, Li X, Wang C, *et al.* Ostrość wzroku, bliska foria i akomodacja u dzieci z krótkowzrocznością używających soczewek okularowych z asferycznymi soczewkami: wyniki randomizowanego badania klinicznego. *Eye Vis (Lond)* 2022;9(1):33.
- 62 Lam CS, Tang WC, Lee PH, *et al.* Skuteczność kontroli krótkowzroczności soczewek okularowych z wieloma segmentami z defokusem (DIMS) u chińskich dzieci: wyniki 3-letniego badania kontrolnego. *Br J Ophthalmol* 2022;106(8):1110-1114.
- 63 Li X, Huang Y, Yin Z, *et al.* Skuteczność kontroli krótkowzroczności soczewek okularowych z asferycznymi soczewkami: wyniki 3-letniego badania obserwacyjnego. *Am J Ophthalmol* 2023;253:160-168.
- 64 Lam CS, Tang WC, Tse DY, *et al.* Soczewki miękkie z wbudowanym defokusem (DISC) spowalniają postęp krótkowzroczności u chińskich uczniów w Hongkongu: 2-letnie randomizowane badanie kliniczne. *Br J Ophthalmol* 2014;98(1):40-45.
- 65 Myles W, Dunlop C, McFadden SA. Wpływ długotrwałego stosowania niskich dawek atropiny na postęp refrakcji u krótkowzrocznych australijskich uczniów. *J Clin Med* 2021;10(7):1444.

- 66 Chia A, Chua WH, Wen L, *et al.* Atropina w leczeniu krótkowzroczności u dzieci: zmiany po zaprzestaniu stosowania atropiny 0,01%, 0,1% i 0,5%. *Am J Ophthalmol* 2014;157(2):451-457.e1.
- 67 Polling JR, Tan E, Driessen S, *et al.* Trzyletnie badanie obserwacyjne dotyczące leczenia atropiną postępującej krótkowzroczności u Europejczyków. *Eye (Lond)* 2020;34(11):2020-2028.
- 68 Holden B, Sankaridurg P, Smith E, *et al.* Krótkowzroczność, niedoceniane globalne wyzwanie dla wzroku: gdzie prowadzą nas aktualne dane dotyczące kontroli krótkowzroczności. *Eye (Lond)* 2014;28(2):142-146.
- 69 Ruiz-Pomeda A, Prieto-Garrido FL, Hernández Verdejo JL, *et al.* Efekt odbicia w badaniu oceny wad wzroku w Hiszpanii (Mass). *Curr Eye Res* 2021;46(8):1223-1226.