

ARTYKUŁ



Trzyletnia zmiana w wadzie refrakcji i jej czynniki ryzyka: wyniki badania kohortowego dzieci w wieku szkolnym w Shahroud

Carla Lanca^{1,2}, Mohammad Hassan Emamian³, Yee Ling Wong⁴, Hassan Hashemi⁵, Mehdi Khabazkhoob⁶, Andrzej Grzybowski^{7,8}, Seang Mei Saw^{9,10,11} i Akbar Fotouhi¹²

© Autorzy, na podstawie wyłącznej licencji udzielonej przez The Royal College of Ophthalmologists 2022

CELE: Określenie progresji równoważnika sferycznego (SE) wśród dzieci w badaniu kohortowym Shahroud School Children Eye Cohort Study.

METODY: W prospektywnym badaniu kohortowym w 2015 r. (punkt odniesienia) zrekrutowano dzieci w wieku od 6 do 12 lat, a w 2018 r. przeprowadzono obserwację follow-up. Badanie obejmowało autorefrakcję cykloplegiczną i pomiary długości osiowej (AL). Przez 3 lata analizowano postęp SE u osób bez krótkowzroczności (SE

≥ +0,76 D), przedkrótkowzroczność (PM; SE między +0,75 D a −0,49 D), niską krótkowzroczność (LM; SE między −0,5 D a −5,99 D) oraz wysoką krótkowzroczność (HM; SE ≤ −6 D). Wiek, płeć, praca w bliskiej odległości, czas spędzany na świeżym powietrzu, miejsce zamieszkania, krótkowzroczność rodziców, wykształcenie matki i wyjściowa wartość SE zostały ocenione jako czynniki ryzyka progresji SE (SE ≤ −0,50 D).

WYNIKI: Dane były dostępne dla 3989 dzieci (7945 oczu). Na początku badania 40,3% (n = 3205), 3,4% (n = 274) i 0,1% (n = 7) oczu miało odpowiednio PM, LM i HM. Po 3 latach obserwacji 40,5% (n = 3216), 7,5% (n = 599) i 0,2% (n = 15) oczu miało odpowiednio PM, LM i HM. Postęp SE w oczach z LM i HM wyniósł odpowiednio −1,08 ± 0,76 D i −1,60 ± 1,19 D. Postęp SE był związany z wiekiem w momencie rozpoczęcia badania (iloraz szans [OR] = 1,14; 95% przedział ufności [CI], 1,08–1,21), płcią żeńską (OR = 1,80; 95% CI: 1,48–2,18), pracą w bliskiej odległości (OR = 1,08; 95% CI: 1,02–1,14), krótkowzroczność rodziców (OR = 1,20; 95% CI: 1,01–1,42) oraz wyjściowa SE (OR = 2,28; 95% CI: 1,88–2,78).

WNIOSEK: Zmiana w kierunku krótkowzroczności była związana z wyższym wiekiem, płcią żeńską, pracą z bliska, krótkowzrocznością rodziców i większą wartością bazową SE. Wyniki te pomagają zidentyfikować dzieci zagrożone progresją, które mogą odnieść korzyści z leczenia i poradnictwa dotyczącego stylu życia.

Eye (2023) 37:1625–1632; <https://doi.org/10.1038/s41433-022-02219-8>

WPROWADZENIE

Krótkowzroczność jest ważnym problemem zdrowia publicznego, a oczekuje się, że w 2050 r. 50% światowej populacji będzie cierpieć na krótkowzroczność [1]. Czynniki ryzyka środowiskowego, takie jak skrócenie czasu spędzanego na świeżym powietrzu, bardziej intensywna edukacja i zwiększona praca z bliska, są powiązane ze wzrostem częstości występowania krótkowzroczności [2–5]. Zapobieganie postępowi krótkowzroczności w dzieciństwie ma ogromne znaczenie dla zmniejszenia częstości występowania wysokiej krótkowzroczności i powikłań związanych z krótkowzrocznością, takich jak zwyrodnienie plamki żółtej związane z krótkowzrocznością [6, 7].

Postęp krótkowzroczności był analizowany w poprzednich badaniach i stwierdzono, że jest większy w krajach Azji Wschodniej i Południowo-Wschodniej w porównaniu z krajami zachodnimi [8–10]. Średni postęp krótkowzroczności wahał się od −0,63 do −2,00 dioptrii (D) rocznie w badaniach klinicznych przeprowadzonych w Azji Wschodniej, np. w Chinach i Hongkongu, oraz w Azji Południowo-Wschodniej, w Singapurze [8, 11–15]. Chociaż pochodzenie etniczne wydaje się być ważnym czynnikiem wpływającym na tempo postępu krótkowzroczności, czynniki ryzyka postępu krótkowzroczności wydają się być podobne.

między osobami pochodzenia wschodnioazjatyckiego a Europejczykami. Szybszy postęp krótkowzroczności (SE ≤ −0,50 D rocznie) był związany z młodszym wiekiem, płcią żeńską i większym równoważnikiem sferycznym (SE) w momencie rozpoczęcia badania wśród krótkowzrocznych (SE ≤ −4,00 D) europejskich dzieci w wieku od 7 do 12 lat [9]. Ponadto jako czynniki ryzyka progresji krótkowzroczności zidentyfikowano również wiek wystąpienia krótkowzroczności oraz krótkowzroczność rodziców [16–18]. SE w wieku 10 lat może być ważnym wskaźnikiem prognostycznym, który może pomóc w określeniu intensywności leczenia kontrolującego krótkowzroczność, ponieważ osoby z szybszą progresją przed 10. rokiem życia były bardziej narażone na rozwój wysokiej krótkowzroczności w wieku dorosłym [7]. Większość istniejących danych dotyczących progresji krótkowzroczności pochodzi z krajów Azji Wschodniej lub krajów zachodnich, a dane z Bliskiego Wschodu są rzadkie [19, 20]. Aby ukierunkować postępowanie kliniczne, konieczne jest lepsze zrozumienie czynników ryzyka progresji krótkowzroczności w różnych populacjach. Celem niniejszego badania było zbadanie progresji SE wśród dzieci w ramach badania Shahroud School Children Eye Cohort Study (SSECS) w Iranie.

¹ Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa (ESTeSL), Instituto Politécnico de Lisboa, Lizbona, Portugalia. ² Comprehensive Health Research Center (CHRC), Escola Nacional de Saúde Pública, Universidade Nova de Lisboa, Lizbona, Portugalia. ³ Ophthalmic Epidemiology Research Center, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran. ⁴ R&D AMERA, Essilor International, Singapur, Singapur. ⁵ Centrum Badań Okulistycznych Noor, Szpital Okulistyczny Noor, Teheran, Iran. ⁶ Katedra Pielęgniarstwa Chirurgicznego, Szkoła Pielęgniarstwa i Położnictwa, Uniwersytet Medyczny im. Shahida Beheshtiego, Teheran, Iran. ⁷ Katedra Okulistyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn, Polska. ⁸ Instytut Badań Okulistycznych, Fundacja Rozwoju Okulistyki, Poznań, Polska. ⁹ Singapurski Instytut Badań Okulistycznych, Singapurskie Narodowe Centrum Okulistyczne, Singapur, Singapur. ¹⁰ Szkoła Medyczna Duke-NUS, Singapur, Singapur. ¹¹ Szkoła Zdrowia Publicznego Saw Swee Hock, Narodowy Uniwersytet Singapuru, Singapur, Singapur. ¹² Katedra Epidemiologii i Biostatystyki, Szkoła Zdrowia Publicznego, Uniwersytet Medyczny w Teheranie, Teheran, Iran. [✉] e-mail: emamian@shmu.ac.ir

Otrzymano: 1 marca 2022 r. Poprawiono: 16 lipca 2022 r. Zaakceptowano: 12 sierpnia 2022 r.

Opublikowano online: 23 sierpnia 2022 r.

METODY

Badana populacja i projekt badania

SSCECS to prospektywne badanie kohortowe, w którym w 2015 r. zrekrutowano dzieci w wieku od 6 do 12 lat z obszarów miejskich i wiejskich w Shahroud w północno-wschodnim Iranie. Metodologia badania została wcześniej opisana [21]. Na początku badania wykluczono dzieci, które miały w wywiadzie operację lub uraz oka, zez lub niedowidzenie. Do badania włączono dzieci, które uczestniczyły zarówno w badaniu podstawowym, jak i w wizycie kontrolnej po 3 latach w 2018 r. (rys. uzupełniający 1). Protokół badania został zatwierdzony przez Komisję Etyczną Uniwersytetu Medycznego w Shahroud, która przestrzega zasad Deklaracji Helsińskiej. Wszyscy rodzice podpisali świadome zgody na udział swoich dzieci w badaniu. Wszystkie włączone do badania dzieci w wieku szkolnym wyraziły chęć udziału.

Kryteria włączenia i wyłączenia

Przeanalizowano dzieci, które uczestniczyły w wizycie wyjściowej i wizycie kontrolnej po 3 latach, dla których dostępne były informacje dotyczące pomiarów SE lub długości osiowej (AL) oraz czynników ryzyka środowiskowego. Zostały one uwzględnione w analizie, jeśli spełnione były następujące kryteria: (1) dostępność SE zmierzonej za pomocą refraktometrii cykloplegicznej i/lub AL; oraz (2) dostępność co najmniej jednej z następujących zmiennych: czas spędzony na czytaniu i pisanii, oglądaniu rozrywki na ekranie (czas spędzony przed ekranem), całkowity czas pracy z bliska i czas spędzony na świeżym powietrzu.

Pomiary refrakcji i biometrii

Autorefrakcję cykloplegiczną przeprowadzono za pomocą retinoskopii i urządzenia Nidek ARK-510A co najmniej 30 minut po zakropieniu 2 kropli cyklopentolanu 1% w odstępie 5 minut. SE obliczono przy użyciu standardowego wzoru ($SE = \text{sfera} + [\text{cylinder}/2]$). AL (w mm) zmierzono za pomocą urządzenia Allegro Lenstar LS 900 (WaveLight AG, Erlangen, Niemcy).

Czytanie i pisanie, czas spędzany przed ekranem, całkowity czas pracy z bliska i czas spędzany na świeżym powietrzu

Czas poświęcony na czytanie i pisanie, rozrywkę cyfrową opartą na ekranach, całkowity czas poświęcony na pracę z bliska oraz czas spędzony na świeżym powietrzu zostały oszacowane na podstawie kwestionariusza wypełnionego przez rodziców (.). Całkowita praca z bliska została zdefiniowana jako wszelkie czynności, takie jak czytanie i pisanie, kolorowanie, rysowanie, czytanie dla przyjemności, odrabianie zadań domowych/nauka, praca przy komputerze i zabawa urządzeniami przenośnymi. Czas spędzony przed ekranem cyfrowym został zdefiniowany jako czas poświęcony na oglądanie rozrywki opartej na ekranach (komputer i urządzenia mobilne). Czas spędzony na świeżym powietrzu obejmował aktywność fizyczną i zajęcia rekreacyjne. Czytanie i pisanie, czas spędzony przed ekranem, całkowity czas pracy w bliskiej odległości od ekranu oraz czas spędzony na świeżym powietrzu (obliczone jako liczba godzin dziennie [h/d]) z kwestionariuszy zostały ujednolicone dla każdego dziecka.

Inne pomiary

Szczegółowe kwestionariusze wypełniane przez ankietatorów posłużyły do zebrania danych demograficznych (wiek, płeć, wykształcenie rodziców i krótkowzroczność rodziców), ogólnej historii medycznej i okulistycznej. Wzrost uczestników mierzono w pozycji stojącej bez obuwia, przy użyciu stadiometru o dokładności 0,1 cm [21].

Czynniki prognostyczne progresji SE i AL

Interesującym wynikiem było postępowanie SE i AL w ciągu 3 lat. Średnie trzyletnie postępowanie SE i AL, zdefiniowane jako postępowanie w ciągu 3 lat, obliczono poprzez odjęcie pomiarów wyjściowych od pomiarów po 3 latach obserwacji. Postępowanie SE oznacza pogorszenie SE (w kierunku ujemnym), a postępowanie AL oznacza wydłużenie osiowe. Postępowanie SE zdefiniowano jako postępowanie SE wynoszące co najmniej $-0,50$ D w ciągu 3 lat, niezależnie od stopnia krótkowzroczności. Progresję krótkowzroczności zdefiniowano jako progresję SE wynoszącą co najmniej $-0,50$ D w ciągu 3 lat w przypadku oczu krótkowzrocznych. Progresję AL zdefiniowano jako progresję AL przekraczającą medianę $0,28$ mm w ciągu 3 lat. W naszym badaniu stwierdzono umiarkowaną odwrotną korelację między progresją AL a progresją SE ($r = -0,56$). Na związek między SE a AL ma wpływ wiek dziecka i stopień krótkowzroczności, przy czym korelacja AL z SE jest silniejsza u starszych dzieci i w przypadku oczu o większej długości osiowej. Na przykład w poprzednim badaniu stwierdzono, że 1 D krótkowzroczności odpowiadało $0,28$ mm wzrostu długości osiowej u dzieci w wieku 6–7 lat i $0,32$ mm u dzieci w wieku 12–13 lat [22]. W innym badaniu, The Correction of Myopia Evaluation Trial (COMET), wzrost długości osiowej o $0,5$ mm wiązał się z postępnym krótkowzroczności o 1 D u dzieci w wieku od 6 do 11 lat

[23]. W związku z tym definicja progresji długości osiowej w naszym badaniu została oparta na aktualnych dowodach, młodszy wiek naszej kohorty oraz analizie mediany wartości granicznej ($0,28$ mm).

Postęp SE w ciągu 3 lat analizowano w przypadku oczu bez krótkowzroczności ($SE \geq +0,76$ D), przedkrótkowzrocznych (PM; SE między $+0,75$ D a $-0,49$ D), z niewielką krótkowzrocznością (LM; SE między $-0,5$ D a $-5,99$ D) oraz z dużą krótkowzrocznością (HM; SE ≤ -6 D) [24].

Analiza statystyczna

3-letni wskaźnik częstości występowania dla poszczególnych oczu został obliczony na podstawie rozwoju krótkowzroczności w oczach bez krótkowzroczności w momencie rozpoczęcia badania. Aby określić czynniki ryzyka związane z progresją SE, porównano oczy z progresją SE ($\leq -0,50$ D) i oczy bez progresji SE w ciągu 3 lat. Wyniki „progresja SE” i „progresja AL (określona przez medianę wartości granicznej)” zostały przeanalizowane jako zmienne kategoryczne (tak/nie). Dodatkowo wyniki „progresja SE” i „progresja AL” zostały przeanalizowane jako zmienne ciągłe. Do porównania progresji SE i AL w okresie 3 lat według grup wiekowych i kategorii SE na początku badania zastosowano analizę wariancji ANOVA. Aby ocenić różnice w charakterystyce uczestników według statusu wyniku, wybrano oko z większym postępnem SE lub AL (gorsze oko) każdego pacjenta podczas ostatniej kontroli. Jeśli postęp był taki sam dla obu oczu, wybrano postęp prawego oka. Aby ocenić różnice w charakterystyce oczu uczestników według statusu wyniku, wybrano obydwa oczy.

Czynniki ryzyka, takie jak wyjściowa SE i AL, całkowity czas pracy w bliskiej odległości, czas spędzany przed ekranem i czas spędzany na świeżym powietrzu, zostały przeanalizowane jako zmienne ciągłe (zmiana na jednostkę). W analizie uwzględniono oba oczy, dlatego też zastosowano uogólnione równanie estymacyjne (GEE) w celu uwzględnienia korelacji między obiema gałkami ocznymi. Wyniki zostały przedstawione z uwzględnieniem czynników zakłócających poprzez włączenie następujących zmiennych jako współzmiennych w modelach GEE: wiek, płeć, wykształcenie matek, krótkowzroczność rodziców, wyjściowa wartość SE oraz miejsce zamieszkania (wieś/miasto). Wzrost i wyjściowa wartość AL zostały uwzględnione tylko w modelach wykorzystujących progresję AL jako wynik. Za statystycznie istotną przyjęto wartość $p < 0,05$. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu oprogramowania STATA i SPSS (IBM, Stany Zjednoczone, wersja 26).

WYNIKI

W analizie uwzględniono łącznie 3989 dzieci (7945 oczu). Średni wiek ($\pm$ odchylenie standardowe) wynosił $9,6 \pm 1,7$ roku, a 2042 (51,2%) stanowiły chłopcy (Tabela 1). W momencie rozpoczęcia badania 3205 (40,3%), 274 (3,4%) i 7 (0,1%) oczu miało odpowiednio PM, LM i HM. Po 3 latach obserwacji 40,5% ($n = 3216$), 7,5% ($n = 599$) i 0,2% ($n = 15$) oczu miało odpowiednio PM, LM i HM. Wskaźnik występowania krótkowzroczności po 3 latach wyniósł 4,7% (95% przedział ufności [CI], 3,7–5,7).

Podczas wizyty kontrolnej po 3 latach średnia SE wynosiła $0,69 \pm 0,98$ D, w zakresie od $-11,00$ D do $5,25$ D, a średnia AL wynosiła $23,29 \pm 0,78$ mm, w zakresie od $20,54$ mm do $28,01$ mm. Średnia progresja SE w ciągu 3 lat wyniosła $-0,15 \pm 0,47$ D, a progresja AL w ciągu 3 lat wyniosła $0,31 \pm 0,19$ mm. W przypadku oczu z LM podczas obserwacji ($n = 599$) średnia progresja krótkowzroczności w ciągu 3 lat wyniosła $-1,08 \pm 0,76$ D, a progresja AL w ciągu 3 lat wyniosła $0,63 \pm 0,30$ mm. Postęp krótkowzroczności był znacznie (oba $p < 0,001$) wyższy w oczach z HM podczas obserwacji ($n = 15$), ze średnim 3-letnim postępnem SE i AL wynoszącym odpowiednio $-1,60 \pm 1,19$ D i $0,79 \pm 0,47$ mm.

Rycina 1 przedstawia 3-letnią progresję SE i AL u wszystkich dzieci w podziale na grupy wiekowe (ryc. 1, górny panel) i kategorie SE w punkcie początkowym (ryc. 1, dolny panel). Średnia progresja SE wzrastała wraz z wiekiem w momencie rozpoczęcia badania (ANOVA, $p < 0,001$), natomiast średnia progresja AL zmniejszała się wraz z wiekiem w momencie rozpoczęcia badania (ANOVA, $p < 0,001$). Progresja SE ($r = -0,15$) i progresja AL ($r = -0,31$) były skorelowane z wiekiem w momencie rozpoczęcia badania. Praca w bliskiej odległości znacznie wzrosła (ANOVA, $p < 0,001$) wraz z wiekiem wyjściowym, przy czym dzieci w wieku od 6 do 8 lat ($3,60 \pm 1,55$ godz./dobę) spędzały mniej czasu na pracy z bliska w porównaniu z dziećmi w wieku od 9 do 10 lat ($3,77 \pm 1,67$ godz./dobę) i od 11 do 12 lat ($3,94 \pm 1,71$ godz./dobę). Czytanie i pisanie różniło się znacząco ($p = 0,025$) tylko w przypadku dzieci w wieku od 6 do 8 lat ($1,12 \pm 0,59$ godz./dobę) w porównaniu z dziećmi w wieku od 11 do 12 lat ($1,18 \pm 0,62$ godz./dobę). Czas spędzany na świeżym powietrzu różnił się znacząco ($p = 0,004$) tylko w przypadku dzieci w wieku od 9 do 10 lat ($1,56 \pm 1,28$ g o d z . / d o b e) w porównaniu z dziećmi w wieku od 11 do 12 lat ($1,68 \pm 1,39$ godz./dobę). Średnia AL

Tabela 1. Dane demograficzne i charakterystyka dzieci objętych badaniem kohortowym oczu dzieci w wieku szkolnym w Shahroud (n= 3989 dzieci; 7945 oczu).

Charakterystyka demograficzna i charakterystyka oczu	Liczba dzieci (liczba oczu)	Średnia± SD lub %
Wiek w momencie rozpoczęcia badania (lata)	3989	9,6± 1,7
Grupy wiekowe (%)		
6–8 lat	1589	39,8
9–10 lat	1386	34,7
11–12 lat	1014	25,4
Płeć (%)		
Chłopcy	2042	51,2
Dziewczęta	1947	48,8
Wzrost (cm)	3988	135,9± 11,5
Miejsce zamieszkania (%)		
Miejskie	3172	79,8
Wiejskie	802	20,2
Wykształcenie matki (lata)	3963	9,8± 4,2
Czas spędzany na świeżym powietrzu (godz./dzień)	3959	1,6± 1,3
Praca w pobliżu (godz./dzień)	3846	3,75± 1,64
Czas spędzany przed ekranem (godz./dzień)	3861	1,0± 1,0
Krótkowzroczność rodziców (%)		
Brak	2891	72,7
Jedno z rodziców	936	23,6
Oboje rodzice	147	3,7
SE bazowe (D)	(7945)	0,84± 0,77
Brak krótkowzroczności (SE ≥+ 0,76 D)	(4459)	56,1
Przed krótkowzrocznością (SE+ 0,75 D do –0,49 D)	(3205)	40,3
Niska krótkowzroczność (SE– od 0,5 D do –5,99 D)	(274)	3,4
Wysoka krótkowzroczność (SE ≤– 6 D)	(7)	0,1
Wartość wyjściowa długości osiowej gałki ocznej (mm)	(7802)	22,98± 0,76
Grupy AL (Q, kwartyle, %)		
Q1 (AL≤22,47)	(1971)	25,3
Q2 (AL 22,48 do 22,96)	(1938)	24,8
Q3 (AL 22,97 do 23,46)	(1959)	25,1
Q4 (AL≥ 23,47)	(1934)	24

W przypadku niektórych zmiennych liczba „n” może nie wynosić 3989 dzieci z powodu brakujących danych.
y lata, h/dzień godziny dziennie, SE równoważnik sferyczny, D dioptria, AL długość osiowa, SD odchylenie standardowe.

PM (3,80± 1,66 h/d), LM (4,00± 1,88 h/d) i HM (4,37± 2,51 h/d).

Czas spędzany na świeżym powietrzu nie różnił się znacząco (ANOVA, $p=0,22$) w zależności od wyjściowych kategorii SE. Dziewczęta wykazywały większy postęp krótkowzroczności ($-0,19\pm 0,51$ u dziewcząt w porównaniu z $-0,10\pm 0,42$ u chłopców; $p<0,001$) oraz szybszy postęp długości osiowej oka ($0,33\pm 0,19$ u dziewcząt w porównaniu z $0,29\pm 0,18$ u chłopców; $p\leq 0,001$) w ciągu 3 lat.

Spośród 4459 oczu bez krótkowzroczności w momencie rozpoczęcia badania, u 9 (0,2%) w ciągu 3 lat rozwinęła się krótkowzroczność. Średni postęp SE w tych 9 oczach wyniósł $-2,83\pm 2,31$ D. Spośród 3205 oczu bez krótkowzroczności w momencie rozpoczęcia badania, u 332 (10,4%) w ciągu 3 lat rozwinęła się krótkowzroczność. Średni postęp SE w tych 332 oczach wyniósł $-1,09\pm 0,57$. Spośród 274 oczu z LM na początku badania, 258 (94,2%) miało utrzymujące się LM, 8 (2,9%) rozwinęło HM, a 8 (2,9%) powróciło do PM po 3 latach obserwacji. Średnia progresja SE w ciągu 3 lat w oczach z LM i HM w punkcie początkowym wynosiła odpowiednio $-1,04\pm 0,84$ D i $-0,64\pm 0,86$ D.

W 909 oczach (11,4%) wystąpiło pogorszenie wzroku o 0,50 D lub więcej, a w 4001 oczach (50,4%) wydłużenie osiowe o 0,28 mm lub więcej. W porównaniu z dziećmi bez progresji SE, dzieci z progresją SE były starsze, wyższe, częściej były to dziewczynki, pochodziły z obszarów miejskich, miały matki z większym wykształceniem, miały większą liczbę rodziców bez krótkowzroczności, spędzały mniej czasu na świeżym powietrzu, a więcej na pracy z bliska (Tabela 2). W porównaniu z dziećmi bez progresji AL, dzieci z wydłużeniem osiowym wynoszącym 0,28 mm lub więcej były młodsze, niższe, częściej były to dziewczynki, miały matki z większą liczbą lat edukacji, miały większą liczbę rodziców bez krótkowzroczności i spędzały mniej czasu na świeżym powietrzu, a więcej na pracy z bliska. W porównaniu z oczami bez przesunięcia w kierunku krótkowzroczności, oczy z przesunięciem w kierunku krótkowzroczności miały mniejszą hiperopię SE w punkcie odniesienia i pochodziły z kategorii bez krótkowzroczności i PM w punkcie odniesienia (Tabela 3). Oczy z niższych kwartylu AL, krótszym AL i mniejszą hiperopią SE w punkcie odniesienia były bardziej narażone na progresję AL. Progresja SE we wszystkich oczach była związana z wyższym wiekiem w punkcie początkowym (iloraz szans [OR]= 1,14; 95% CI: 1,08–1,21), płcią żeńską (OR= 1,80; 95% CI: 1,48–2,18), pracą z bliska (OR= 1,08; 95% CI: 1,02–1,14), krótkowzrocznością rodziców (OR= 1,20; 95% CI: 1,01–1,42) oraz wyższą wartością bazową SE dla krótkowzroczności (OR= 2,28; 95% CI: 1,88–2,78; tabela 4) w modelu wielowymiarowym. Z drugiej strony, progresja długości osiowej oka we wszystkich oczach była związana z młodszy wiekiem w momencie rozpoczęcia badania (OR= 0,53; 95% CI: 0,49–0,57). Ponadto progresja AL była również związana z wykształceniem matki (OR= 0,53; 95% CI: 1,01–1,05), czasem spędzanym na świeżym powietrzu (OR= 0,94; 95% CI: 0,89–0,99) oraz AL.

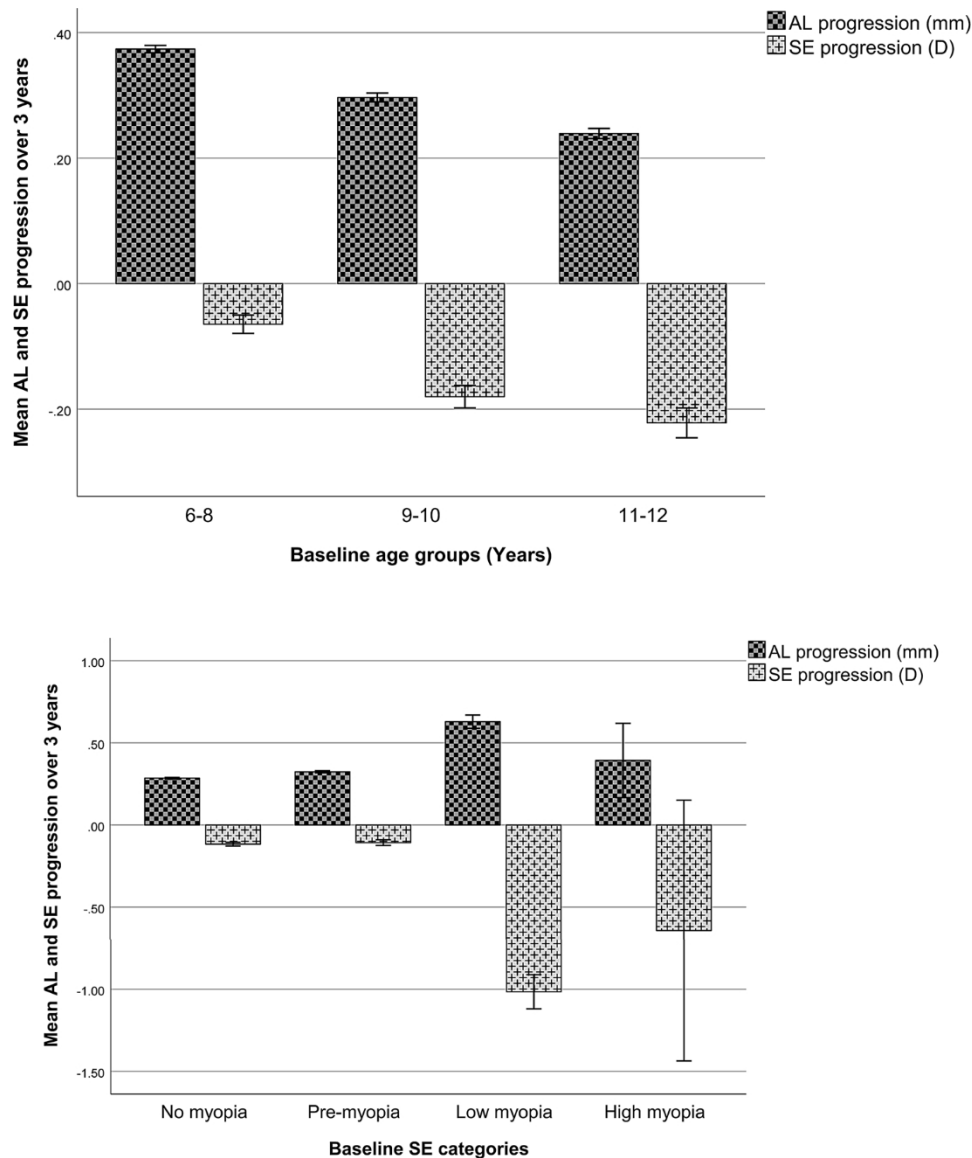
w punkcie odniesienia (OR= 1,63; 95% CI: 1,47–1,81) w modelu wielowymiarowym. Postęp krótkowzroczności w oczach krótkowzrocznych w punkcie odniesienia nie był istotnie powiązany z żadnym z czynników prognostycznych w modelu wielowymiarowym. Zaobserwowano tendencję, choć nieistotną statystycznie, że dzieci bez krótkowzroczności i PM w punkcie początkowym spędzały mniej czasu na świeżym powietrzu ($1,39\pm 1,31$ godz./dobę i $1,42\pm 1,28$ godz./dobę) i więcej czasu na pracy z bliska ($4,50\pm 1,36$ i $4,12\pm 1,68$) w porównaniu z dziećmi z LM (czas spędzany na świeżym powietrzu: $1,5\pm 1,24$ godz./dobę; praca z bliska: $3,99\pm 1,88$ godz./dobę).

DYSKUSJA

W niniejszym badaniu opisano postęp SE i AL w ciągu 3 lat u 3989 dzieci w wieku od 6 do 12 lat z Iranu (n= 7945 oczu). Trzyletni wskaźnik występowania krótkowzroczności był niski (4,6%, 95% CI: 4,1, 5,1). Średni postęp SE i AL w ciągu 3 lat w oczach z LM podczas obserwacji wynosił odpowiednio $-1,08\pm 0,76$ D i $0,63\pm 0,30$ mm. Postęp był znacznie większy w oczach z HM podczas obserwacji. Czynniki związane z szybszym postępem SE to płeć żeńska, bardziej zaawansowany poziom krótkowzroczności na początku badania, starszy wiek, więcej czasu spędzanego na pracy w pobliżu i większa liczba rodziców z krótkowzrocznością.

Średnia progresja SE ($-1,08\pm 0,76$ D) w ciągu 3 lat u dzieci z LM w tym badaniu była podobna do progresji u afroamerykańskich dzieci z krótkowzrocznością, która pojawiła się w wieku 7 lat ($-1,05$ D, 95% CI: $-1,34$, $-0,76$) z badania Collaborative Longitudinal Evaluation of Ethnicity and Refractive Error (CLEERE) [25]. Nasza średnia progresja AL

Postęp choroby znacznie wzrósł (ANOVA, $p<0,001$) we wszystkich kategoriach SE w punkcie odniesienia, z wyjątkiem grupy HM. Grupa HM różniła się znacząco tylko od grupy LM ($p=0,002$). Średni postęp SE był najwyższy dla grup LM i HM w punkcie odniesienia i różnił się znacząco od grup bez krótkowzroczności i PM w punkcie odniesienia ($p<0,05$). Postęp SE ($r=0,20$) i postęp AL ($r=-0,29$) były skorelowane z SE w punkcie odniesienia. Wykryto również korelację między progresją AL a wartością wyjściową AL ($r=0,04$). Czas pracy w bliskiej odległości znacznie wzrósł (ANOVA, $p<0,002$) wraz z kategoriami SE w punkcie początkowym, przy czym dzieci bez krótkowzroczności ($3,69\pm 1,60$ godz./dobę) spędzały mniej czasu na pracy w bliskiej odległości w porównaniu z dziećmi z



Ryc. 1 Średnia progresja SE i AL w okresie 3 lat w zależności od grup wiekowych w punkcie odniesienia (u góry) i kategorii ekwiwalentu sferycznego w punkcie odniesienia (u dołu) ($n = 3989$ dzieci; 7945 oczu). SE Ekwiwalent sferyczny, AL Długość osiowa. Słupki błędów reprezentują 95% przedziały ufności.

($0,63 \pm 0,30$ mm) była również podobna do średniego tempa progresji w ciągu 3 lat u dzieci w wieku od 8 do 12 lat w grupie kontrolnej badania MiSight Lenses, które wyniosło $0,62 \pm 0,30$ mm [26]. Jednak nasze średnie 3-letnie tempo progresji SE było nieco niższe niż u białych dzieci z krótkowzrocznością, która pojawiła się w wieku 10 lat (średnia $-1,25$ D; 95% CI: $-1,43$ do $-1,06$) z badania CLEERE [25] oraz grupy kontrolnej w wieku od 8 do 12 lat z badania MiSight Lenses ($-1,24 \pm 0,61$ D) [26]. Nasza średnia progresja SE była ponad dwukrotnie większa niż w badaniu Northern Ireland Childhood Errors of Refraction (NICER) dla starszej grupy wiekowej od 12 do 13 lat (średnia $-0,33$ D, 95% CI: $-1,63$ do $-0,63$) [27]. W porównaniu z innymi dziećmi z Azji, nasze wyniki dotyczące progresji wykazały znacznie wolniejszy postęp. Na przykład 3-letnia progresja u dzieci w wieku od 7 do 10 lat wyniosła $-2,11$ D (95% CI: $-2,23$ do $-1,99$) u dzieci z Singapuru [28], co może być związane z różnicami w pochodzeniu etnicznym, genetyce i czynnikach środowiskowych, takich jak przebywanie na świeżym powietrzu lub praca w bliskiej odległości od oczu.

W niniejszym badaniu wyższa wartość SE w momencie rozpoczęcia badania była związana z progresją SE u wszystkich dzieci. Wynik ten jest zgodny z innymi

wyniki badań [7, 9], które wykazały szybszy postęp krótkowzroczności u dzieci z większą wadą refrakcji w momencie rozpoczęcia badania. Tempo postępu SE może być przydatne jako wytyczna do identyfikacji pacjentów z szybkim postępem choroby, którzy mogą odnieść korzyści z wczesnego lub bardziej intensywnego leczenia. W naszym badaniu stwierdziliśmy odwrócenie OR podczas analizy postępu krótkowzroczności u osób krótkowzrocznych i wyjściowego SE. –Na odwrócenie to wydawało się mieć wpływ głównie 3-letni postęp krótkowzroczności w 9 oczach bez krótkowzroczności w momencie rozpoczęcia badania, u których rozwinęła się krótkowzroczność i bardzo szybki postęp o $2,83 \pm a$ i $2,31$ d. Stwierdziliśmy, że dzieci bez krótkowzroczności w momencie rozpoczęcia badania miały tendencję, choć nieistotną statystycznie, do spędzania mniej czasu na pracy z bliska w porównaniu z dziećmi z krótkowzrocznością. Chociaż wyniki te mogą być związane z różnicami w czynnikach środowiskowych, takich jak przebywanie na świeżym powietrzu lub wzorce pracy z bliska, nie można wykluczyć innych nieznanymi czynników i konieczne są dalsze badania.

W niniejszym badaniu starszy wiek był związany z większym postępem SE, natomiast postęp długości osiowej był związany z młodszym wiekiem. Chociaż postęp SE był znacznie większy u dzieci w wieku od 11 do 12 lat, różnica ta wydaje się niewielka.

Tabela 2. Porównanie cech demograficznych dzieci z progresją sferycznej ekwiwalentnej (SE) i długości osiowej oraz dzieci bez progresji SE i długości osiowej (n= 3989 dzieci; 7945 oczu).

Charakterystyka demograficzna	Progresja SE ($\leq -0,50$ D)		D)		P	Progresja długości osiowej ($\geq 0,28$ mm)		P
	Brak n	Średnia $\pm$ SD lub %	Tak n	Średnia $\pm$ SD lub %		Nie n	Średnia $\pm$ SD lub %	
Wiek w momencie rozpoczęcia badania (lata)	3385	9,5 $\pm$ 1,7	604	10,1 $\pm$ 1,6	$\leq 0,001$	1679	10,4 $\pm$ 1,5	$\leq 0,001$
Grupy wiekowe na początku badania (%)								
6–8 lat	1459	41,3	126	28,3	$\leq 0,001$	403	21,5	$\leq 0,001$
9–10 lat	1225	34,7	154	34,6		765	40,8	
11–12 lat	845	23,9	165	37,1		709	37,8	
Płeć (%)								
Chłopcy	1792	52,9	250	41,4	$\leq 0,001$	978	58,2	$\leq 0,001$
Dziewczęta	1593	47,1	354	58,6		701	41,8	
Wzrost (cm)	3384	135,4 $\pm$ 11,4	604	139,2 $\pm$ 11,4	$\leq 0,001$	1678	140,1 $\pm$ 10,7	$\leq 0,001$
Miejsce zamieszkania (%)								
Miejskie	2795	79,2	377	84,7	0,006	1487	79,2	0,80
Obszary wiejskie	734	20,8	68	15,3		390	20,8	
Wykształcenie matki (lata)	3361	9,7 $\pm$ 4,2	602	10,2 $\pm$ 4,2	0,007	1670	9,3 $\pm$ 4,2	$\leq 0,001$
Czas spędzany na świeżym powietrzu (godz./dzień)	3361	1,6 $\pm$ 1,3	598	1,4 $\pm$ 1,2	0,004	1672	1,7 $\pm$ 1,4	$\leq 0,001$
Praca w bliskiej odległości (godz./dzień)	3272	3,7 $\pm$ 1,6	589	4,0 $\pm$ 1,7	$\leq 0,001$	1630	3,7 $\pm$ 1,7	0,63
Czas spędzany przed ekranem (godz./dzień)	3272	1,0 $\pm$ 1,0	589	1,0 $\pm$ 1,1	0,16	1630	1,0 $\pm$ 1,1	0,24
Krótkowzroczność rodziców (%)								
Brak	2489	73,5	414	68,5	0,007	1268	75,5	0,001
Jeden	777	23,0	161	26,7		337	20,1	
Oboje rodzice	119	3,5	29	4,8		74	4,4	

Średnia $\pm$ odchylenie standardowe dla zmiennych ciągłych i wartości procentowe dla zmiennych kategorycznych. P oznacza różnicę w charakterystyce uczestników w zależności od wyniku. y/lata, h/dzień godziny dziennie, D dioptrie, n liczba.

znaczenie kliniczne, ponieważ wynosiło ono jedynie 0,04 D w ciągu 3 lat w porównaniu z dziećmi w wieku od 9 do 10 lat. Niemniej jednak kilka badań wykazało, że progresja SE jest szybsza w młodszym wieku [23, 25, 29]. Chociaż trudno jest zidentyfikować przyczynę tych rozbieżnych wyników, jedną z możliwości jest to, że wiek wystąpienia krótkowzroczności był różny, ponieważ można oczekiwać, że progresja krótkowzroczności będzie większa, jeśli krótkowzroczność wystąpi w młodszym wieku.

Stwierdziliśmy również, że praca w bliskiej odległości była związana z postępowaniem SE, a mniej czasu spędzanego na świeżym powietrzu z postępowaniem AL. Wynik ten różni się od wyników badania CLEERE, w którym nie stwierdzono żadnego związku [25, 30]. Jednak dzieci biorące udział w badaniu CLEERE mieszkali w Stanach Zjednoczonych i mogły być narażone na działanie innego środowiska. Wyniki badań dotyczące pracy w bliskiej odległości i progresji SE są niejednoznaczne, ponieważ w kilku badaniach nie stwierdzono żadnego związku [30–33], a w innych odnotowano pozytywny związek [34]. W naszym badaniu pracę w bliskiej odległości mierzono subiektywnie za pomocą kwestionariusza. Obiektywne pomiary pracy w bliskiej odległości mogą dostarczyć lepszych informacji na temat znaczenia tego czynnika dla tempa progresji.

Płeć była powiązana z postępowaniem SE i AL; dziewczęta miały zarówno większą średnią SE, jak i postęp AL. Chociaż zaobserwowaliśmy istotną statystycznie różnicę między płciami w tempie postępu (), różnica ta nie była istotna klinicznie i wynosiła 0,09 D dla postępu SE oraz 0,04 mm dla postępu AL w ciągu 3 lat. Wynik ten jest zgodny z innymi badaniami i może być powiązany ze stylem życia [25, 29, 35, 36]. Różnice w stylu życia, takie jak częstsze wykonywanie pracy z bliska lub spędzanie mniej czasu na świeżym powietrzu, mogą mieć związek z tą różnicą między płciami, ale konieczne są dalsze badania.

Krótkowzroczność rodziców była powiązana z tempem postępu choroby. Wyniki te są podobne do wyników badań COMET, Raine Study oraz badania przeprowadzonego w Singapurze z udziałem dzieci w wieku od 6 do 12 lat, w których stwierdzono szybszy postęp krótkowzroczności u osób, których rodzice w większym stopniu cierpieli na tę wadę wzroku [25, 31, 36]. Krótkowzroczność rodziców

jest złożoną miarą i może być wynikiem połączenia czynników genetycznych i środowiskowych.

Należy również wspomnieć o potencjalnych ograniczeniach naszego badania. W badaniu nie oceniano wieku wystąpienia krótkowzroczności, a jest to ważny czynnik wpływający na postęp krótkowzroczności. Wiek wystąpienia krótkowzroczności może różnić się od wieku w momencie rozpoczęcia badania lub wieku w momencie przystąpienia do badania. Zastosowanie Wartość 0,28 mm jako granicy progresji AL w niniejszym badaniu nie była porównywalna z definicją progresji krótkowzroczności ($\leq -0,50$ D). Liczba oczu z progresją AL wynoszącą 0,28 mm była znacznie wyższa (n = 4001 oczu) niż liczba oczu z progresją krótkowzroczności $\leq -0,50$ D (n = 909 oczu) w ciągu 3 lat. Wyniki te wymagają dalszych badań, ponieważ 1714 oczu zostało sklasyfikowanych w grupie przedkrótkowzroczności i może być predysponowanych do rozwoju krótkowzroczności w najbliższej przyszłości. Badanie było ograniczone ze względu na wąski zakres wieku w momencie rozpoczęcia badania, wynoszący od 6 do 12 lat. Okres obserwacji nie był wystarczająco długi, aby zaobserwować postęp choroby w późnym okresie nastoletnim i w wieku dorosłym. Jednak zaletą badania jest uwzględnienie ważnych czynników ryzyka, takich jak czas spędzany na świeżym powietrzu i praca w bliskiej odległości, duża próba z refrakcją cykloplegiczną i pomiary długości osiowej oka.

WNIOSKI

Stwierdziliśmy, że zmiany krótkowzroczności były związane z dziećmi starszymi, płci żeńskiej, wykonującymi więcej pracy z bliska, z krótkowzrocznością rodziców i większym błędem refrakcji w punkcie odniesienia. Wyniki te mogą pomóc w identyfikacji dzieci zagrożonych progresją i określeniu najlepszego czasu interwencji terapeutycznej lub określeniu dzieci, które mogą odnieść korzyści z leczenia spowalniającego progresję krótkowzroczności. Konieczne są dalsze badania, zwłaszcza nad strategiami profilaktycznymi, które mogą łączyć leczenie farmakologiczne i optyczne z doradztwem w zakresie stylu życia, aby uniknąć progresji do wysokiej krótkowzroczności w

Tabela 3. Porównanie cech oczu u dzieci z progresją sferyczną (SE) i długością osiową oraz u dzieci bez progresji SE i długości osiowej (n= 3989 dzieci; 7945 oczu).

Charakterystyka oczu	Postęp SE ($\leq -0,50$ D)					Postęp długości osiowej ($\geq 0,28$ mm)				
	Nie Liczba oczu	Średnia $\pm$ SD lub %	Tak <i>n</i>	Średnia $\pm$ SD lub %	<i>P</i>	Nie Liczba oczu	Średnia $\pm$ SD lub %	Tak <i>n</i>	Średnia $\pm$ SD lub %	<i>P</i>
Wartość wyjściowa SE (D)	7036	0,90 $\pm$ 0,61	909	0,32 $\pm$ 1,38	<0,001	3747	0,95 $\pm$ 0,63	4001	0,73 $\pm$ 0,87	<0,001
Brak krótkowzroczności (SE $\geq +0,76$ D)	4141	58,9	318	35,0	<0,001	2284	61,0	2049	51,2	
Przed krótkowzrocznością (SE+ 0,75 D do -0,49 D)	2797	39,8	408	44,9		1427	38,1	1714	42,8	<0,001
Niska krótkowzroczność (SE- 0,50 D do -5,99 D)	95	1,4	179	19,7		34	0,9	233	5,8	
Wysoka krótkowzroczność (SE $\leq$ - 6 D)	3	0,0	4	0,4		2	0,1	5	0,1	
SE podczas ostatniej wizyty (D)	7036	0,88 $\pm$ 0,64	909	-0,74 $\pm$ 1,69	<0,001	3747	0,93 $\pm$ 0,63	4001	0,47 $\pm$ 1,18	<0,001
Wartość wyjściowa AL (mm)	6909	22,95 $\pm$ 0,74	893	23,19 $\pm$ 0,87	<0,001	3747	23,01 $\pm$ 0,73	4001	22,95 $\pm$ 0,78	0,001
Grupy AL (Q, kwartyle, %)										
Q1 (AL $\leq$ 22,47)	1794	26,0	177	19,8	<0,001	860	23,0	1092	27,3	<0,001
Q2 (AL 22,48 do 22,96)	1745	25,3	193	21,6		928	24,8	1002	25,0	
Q3 (AL 22,97 do 23,46)	1739	25,2	220	24,6		985	26,3	966	24,1	
Q4 (AL $\geq$ 23,47)	1631	23,6	303	33,9		974	26,0	941	23,5	
AL podczas ostatniej wizyty (mm)	6983	23,23 $\pm$ 0,73	903	23,74 $\pm$ 0,99	<0,001	3747	23,19 $\pm$ 0,73	4001	23,39 $\pm$ 0,83	<0,001
3-letnia progresja SE (D)	7036	-0,03 $\pm$ 0,28	909	-1,06 $\pm$ 0,61	<0,001	3747	-0,02 $\pm$ 0,31	4001	-0,26 $\pm$ 0,56	<0,001
3-letnia progresja AL (mm)	6860	0,28 $\pm$ 0,14	888	0,56 $\pm$ 0,29	<0,001	3747	0,18 $\pm$ 0,07	4001	0,43 $\pm$ 0,18	<0,001

Średnia $\pm$ odchylenie standardowe dla zmiennych ciągłych i wartości procentowe dla zmiennych kategorycznych. *P* wskazuje różnicę w charakterystyce oczu w zależności od wyniku leczenia.
D – dioptria, *n* – liczba.

Tabela 4. Związek kluczowych czynników ryzyka z progresją równoważnika sferycznego i długości osiowej (n= 3989 dzieci; 7945 oczu).

Cechy demograficzne i cechy oczu Charakterystyka	Postęp SE ($\leq -0,50$ D)			Postęp długości osiowej ($\geq 0,28$ mm)					
	Nieskorygowany iloraz szans (95% CI)		<i>P</i>	Wielowymiarowy OR (95% CI) ^b		<i>P</i>	Nieskorygowany OR (95% CI)		<i>P</i>
Wiek w momencie rozpoczęcia badania (lata)	1,24 (1,17, 1,30)	<0,001	1,14 (1,08, 1,21)	<0,001	0,58 (0,56, 0,61)	<0,001	0,53 (0,49, 0,57)	<0,001	
Płeć (%)									
Chłopcy	Odniesienie		Odniesienie		Odniesienie		Odniesienie		
Dziewczęta	1,70 (1,42, 2,04)	<0,001	1,80 (1,48, 2,18)	<0,001	1,53 (1,35, 1,73)	<0,001	2,11 (1,80, 2,46)	<0,001	
Miejsce zamieszkania									
Wiejskie	Odniesienie 1,04	<0,001	Odniesienie 1,23	0,21	Odniesienie 1,02	0,38	Odniesienie 1,01	0,50	
Miejskie	(1,02, 1,06)		(0,95, 1,60)		(0,98, 1,06)		(0,98, 1,05)		
Wykształcenie matki (y)	1,03 (1,01, 1,06)	0,003	1,02 (1,00, 1,05)	0,07	1,04 (1,03, 1,06)	<0,001	1,03 (1,01, 1,05)	0,001	
Czas spędzany na świeżym powietrzu (godz./dzień)	0,89 (0,82, 0,96)	0,003	0,97 (0,90, 1,05)	0,49	0,89 (0,85, 0,94)	<0,001	0,94 (0,89, 0,99)	0,018	
Praca w bliskiej odległości (godz./dzień)	1,11 (1,06, 1,17)	<0,001	1,08 (1,02, 1,14)	0,007	1,01 (0,98, 1,05)	0,49	1,07 (1,02, 1,11)	0,004	
Krótkowzroczność rodziców (liczba rodziców)	1,30 (1,11, 1,52)	0	1,20 (1,01, 1,42)	0,03	1,09 (0,97, 1,23)	0	1,18 (1,04, 1,34)	0,01	
SE bazowe (D) ^a	2,46 (2,02, 2,98)	<0,001	2,28 (1,88, 2,78)	<0,001	–	–	–	–	
Wartość wyjściowa AL (mm)	–	–	–	–	0,90 (0,83, 0,97)	0,008	1,63 (1,47, 1,81)	<0,001	
Wzrost	–	–	–	–	0,94 (0,94, 0,95)	<0,001	1,00 (0,99, 1,01)	0,87	

CI – przedziały ufności, OR – iloraz szans, SD – odchylenie standardowe.

*Model uwzględnił wiek, płeć, wykształcenie matki, krótkowzroczność rodziców, miejsce zamieszkania, pracę w bliskiej odległości, czas spędzany na świeżym powietrzu oraz wyjściową wartość SE (n= 7586 oczu).

^a Na każdy wzrost o 1 dioptrię.

^bModel uwzględnił wiek, płeć, wykształcenie matki, krótkowzroczność rodziców, miejsce zamieszkania, pracę w bliskiej odległości, czas spędzany na świeżym powietrzu, wzrost i wyjściową długość osiową (n= 7389 oczu).

dorośli i związanych z tym powikłani, takich jak krótkowzroczna zwyrodnienie plamki żółtej.

PODSUMOWANIE

Co było wiadomo wcześniej

- Skrócenie czasu spędzanego na świeżym powietrzu, intensywniejsza edukacja i zwiększona praca w bliskiej odległości są powiązane ze wzrostem częstości występowania krótkowzroczności.
- Zapobieganie postępowi krótkowzroczności w dzieciństwie ma ogromne znaczenie.

Co dodaje niniejsze badanie

- Wskaźnik występowania krótkowzroczności w ciągu 3 lat był niski (4,7%).
- Płeć żeńska, większy stopień krótkowzroczności na początku badania, starszy wiek, więcej czasu spędzanego na pracy z bliska oraz krótkowzroczność rodziców to czynniki związane z postępowm krótkowzroczności.

BIBLIOGRAFIA

- Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P. i in. Globalna częstość występowania krótkowzroczności i wysokiej krótkowzroczności oraz trendy czasowe w latach 2000–2050. *Okulistyka*. 2016;123:1036–42. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>.
- Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W. i in. Aktywność na świeżym powietrzu zmniejsza częstość występowania krótkowzroczności u dzieci. *Okulistyka*. 2008;115:1279–85. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.12.019>.
- He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J. i in. Wpływ czasu spędzanego na świeżym powietrzu w szkole na rozwój krótkowzroczności wśród dzieci w Chinach. *JAMA*. 2015;314:1142. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.10803>.
- Ip JM, Saw SM, Rose KA, Morgan IG, Kifley A, Wang JJ. i in. Rola pracy w bliskiej odległości w krótkowzroczności związanej z nauką (): wyniki badań przeprowadzonych na próbie australijskich dzieci w wieku szkolnym. *Investig Ophthalmol- ogy Vis Sci*. 2008;49:2903. <https://doi.org/10.1167/iov.07-0804>.
- Nickels S, Hopf S, Pfeiffer N, Schuster AK. Krótkowzroczność jest związana z wykształceniem: Wyniki z NHANES 1999–2008. *PLoS One*. 2019;14:e0211196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211196>.
- Wong TY, Ferreira A, Hughes R, Carter G, Mitchell P. Epidemiologia i obciążenie chorobowe związane z patologiczną krótkowzrocznością i neowaskularyzacją naczyń w oku u osób z krótkowzrocznością: przegląd systematyczny oparty na dowodach naukowych. *Am J Ophthalmol*. 2014;157:9–25.e12. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.08.010>.
- Polling JR, Klaver C, Tideman JW. Postęp krótkowzroczności od momentu założenia pierwszych okularów do wieku dorosłego: badanie DREAM. *Br J Ophthalmol*. 2021; <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316234>.
- Fan DS, Lam DS, Lam RF, Lau JT, Chong KS, Cheung EY. i in. Częstość występowania, zapadalność i postęp krótkowzroczności wśród dzieci w wieku szkolnym w Hongkongu. *Badania Ophthalmology Vis Sci*. 2004;45:1071. <https://doi.org/10.1167/iov.03-1151>.
- Tricard D, Marillet S, Ingrand P, Bullimore MA, Bourne RRA, Leveziel N. Progresa krótkowzroczności u dzieci i nastolatków: ogólnokrajowe badanie podłużne. *Br J Ophthalmol*. 2021. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-318256>.
- Donovan L, Sankaridurg P, Ho A, Naduvilath T, Smith EL A, Holden B. Tempo postępu krótkowzroczności u dzieci mieszkających w miastach i noszących okulary jednoogniskowe. *Optom Vis Sci*. 2012;89:27–32. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318235f7f9>.
- Yam JC, Jiang Y, Tang SM, Law AKP, Chan JJ, Wong E. i in. Badanie dotyczące stosowania atropiny w niskim stężeniu w celu spowolnienia postępu krótkowzroczności (LAMP): randomizowane, podwójnie ślepe, kontrolowane placebo badanie dotyczące stosowania kropli do oczu zawierających 0,05%, 0,025% i 0,01% atropiny w kontroli krótkowzroczności. *Ophthalmology*. 2019;126:113–24. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.05.029>.
- Yen MY, Liu JH, Kao SC, Shiao CH. Porównanie wpływu atropiny i cyklopentolanu na krótkowzroczność. *Ann Ophthalmol*. 1989;21:180–2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2742290>.
- Yi S, Huang Y, Yu SZ, Chen XJ, Yi H, Zeng XL. Efekt terapeutyczny stosowania 1% atropiny u dzieci z niską krótkowzrocznością. *J Am Assoc Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2015;19:426–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2015.04.006>.
- Wang Y, Bian HL, Wang Q. Krople do oczu z 0,5% atropiną w leczeniu dzieci z niską krótkowzrocznością. *Med (Baltim)*. 2017;96:e7371. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007371>.
- Chua WH, Balakrishnan V, Chan YH, Tong L, Ling Y, Quah BL. i in. Atropina w leczeniu krótkowzroczności u dzieci. *Ophthalmology*. 2006;113:2285–91. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.062>.
- Ma Y, Zou H, Lin S, Xu X, Zhao R, Lu L. i in. Badanie kohortowe z 4-letnią obserwacją krótkowzroczności i parametrów refrakcji u dzieci w wieku szkolnym w dzielnicy Baoshan w Szanghaju. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018;46:861–72. <https://doi.org/10.1111/ceo.13195>.
- Pärssinen O, Lyyra AL. Krótkowzroczność i postęp krótkowzroczności wśród uczniów: trzyletnie badanie obserwacyjne. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34:2794–802. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8344801>.
- Loh KL, Lu Q, Tan D, Chia A. Czynniki ryzyka postępującej krótkowzroczności w badaniu dotyczącym terapii atropiną w leczeniu krótkowzroczności. *Am J Ophthalmol*. 2015;159:945–9. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2015.01.029>.
- Fotouhi A, Hashemi H, Khabazkhoob M, Mohammad K. Częstość występowania wad refrakcji wśród dzieci w wieku szkolnym w Dezful w Iranie. *Br J Ophthalmol*. 2007;91:287–92. <https://doi.org/10.1136/bjo.2006.099937>.
- Norouzirad R, Hashemi H, Yekta A, Nirouza F, Ostadimoghaddam H, Yazdani N. i in. Częstość występowania wad refrakcji u dzieci w wieku szkolnym od 6 do 15 lat w Dezful w Iranie. *J Curr Ophthalmol*. 2015;27:51–55. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2015.09.008>.
- Emamian MH, Hashemi H, Khabazkhoob M, Malihi S, Fotouhi A. Profil kohorty: Badanie kohortowe oczu uczniów w Shahrud (SSCECS). *Int J Epidemiol*. 2019;48:27–27f. <https://doi.org/10.1093/ije/dyy250>.
- Cruickshank FE, Logan NS. Optyczne „tłumienie” stosunku wady refrakcji do długości osiowej: implikacje dla pomiarów wyników w badaniach nad kontrolą krótkowzroczności. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2018;38:290–7. <https://doi.org/10.1111/opo.12457>.
- Hyman L. Związek wieku, płci i pochodzenia etnicznego z postępowm krótkowzroczności i wydłużeniem osiowym w badaniu oceniającym korektę krótkowzroczności. *Arch Ophthalmol*. 2005;123:977. <https://doi.org/10.1001/archophth.123.7.977>.
- Jong M, Jonas JB, Wolffsohn JS, Berntsen DA, Cho P, Clarkson-Townsend D. i in. IMI 2021 yearly digest. *Investig Ophthalmology Vis Sci*. 2021;62:7. <https://doi.org/10.1167/iov.62.5.7>.
- Jones-Jordan LA, Sinnott LT, Chu RH, Cotter SA, Kleinstein RN, Manny RE. i in. Postęp krótkowzroczności jako funkcja płci, wieku i pochodzenia etnicznego. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021;62:36. <https://doi.org/10.1167/iov.62.10.36>.
- Chamberlain P, Peixoto-de-Matos SC, Logan NS, Ngo C, Jones D, Young G. Trzyletnie randomizowane badanie kliniczne soczewek MiSight stosowanych w kontroli krótkowzroczności. *Optom Vis Sci*. 2019;96:556–67. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001410>.
- Breslin KMM, O'Donoghue L, Saunders KJ. Prospektywne badanie sferycznej wady refrakcji i składników oka wśród uczniów szkół w Irlandii Północnej (badanie NICER). *Investig Ophthalmology Vis Sci*. 2013;54:4843. <https://doi.org/10.1167/iov.13-11813>.
- Khor WB, Aung T, Saw SM, Wong TY, Tambyah PA, Tan AL. i in. Wybuch epidemii zapalenia rogówki wywołanego przez Fusarium związane z nośnieniem soczewek kontaktowych w Singapurze. *JAMA*. 2006;295:2867–73. <https://doi.org/10.1001/jama.295.24.2867>.
- Saw SM, Tong L, Chua WH, Chia KS, Koh D, Tan DT. i in. Częstość występowania i postęp krótkowzroczności u singapurskich dzieci w wieku szkolnym. *Investig Ophthalmology Vis Sci*. 2005;46:51. <https://doi.org/10.1167/iov.04-0565>.
- Jones-Jordan LA, Sinnott LT, Cotter SA, Kleinstein RN, Manny RE, Mutti DO. i in. Czas spędzany na świeżym powietrzu, aktywność wzrokowa i postęp krótkowzroczności u osób z krótkowzrocznością młodzieńczą. *Investig Ophthalmology Vis Sci*. 2012;53:7169. <https://doi.org/10.1167/iov.11-8336>.
- Saw SM, Nieto FJ, Katz J, Schein OD, Levy B, Chew SJ. Czynniki związane z postępowm krótkowzroczności u dzieci w Singapurze. *Optom Vis Sci*. 2000;77:549–54. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11100893>.
- Li SM, Li H, Li SY, Liu LR, Kang MT, Wang YP. i in. Czas spędzany na świeżym powietrzu a postęp krótkowzroczności u chińskich dzieci w ciągu 2 lat: badanie Anyang Childhood Eye Study. *Investig Ophthalmology Vis Sci*. 2015;56:4734. <https://doi.org/10.1167/iov.14-15474>.
- Wu PC, Tsai CL, Wu HL, Yang YH, Kuo HK. Aktywność na świeżym powietrzu podczas przerw w zajęciach szkolnych zmniejsza ryzyko wystąpienia i postępu krótkowzroczności u dzieci w wieku szkolnym. *Ophthalmology*. 2013;120:1080–5. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.11.009>.
- Saxena R, Vashist P, Tandon R, Pandey RM, Bhardwaj A, Gupta V, et al. Częstość występowania i postęp krótkowzroczności oraz czynniki z nią związane u dzieci w wieku szkolnym w Delhi: Badanie krótkowzroczności w północnych Indiach (NIM Study). *PLoS One*. 2017;12:e0189774. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189774>.
- Zhou WJ, Zhang YY, Li H, Wu YF, Xu J, Lv S. i in. Pięcioletni postęp wad refrakcji i częstość występowania krótkowzroczności u dzieci w wieku szkolnym w zachodnich Chinach. *J Epidemiol*. 2016;26:386–95. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20140258>.
- Lee SS, Lingham G, Sanfilippo PG, Hammond CJ, Saw SM, Guggenheim JA. i in. Częstość występowania i postęp krótkowzroczności we wczesnej dorosłości. *JAMA Ophthalmol*. 2022;140:162–9. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.5067>.

WKŁAD AUTORÓW

CL i MHE przyczynili się do powstania koncepcji i projektu badania. CL i MHE przeprowadzili analizę danych. CL napisał manuskrypt. Poprawki do manuskryptu: YL, MK, HH, AG, SSM i AF. Ostateczna akceptacja manuskryptu: wszyscy autorzy.

FINANSOWANIE

Praca ta została wsparta przez Centrum Badań Okulistycznych Noor oraz Uniwersytet Medyczny w Shahroud (numer grantu: 960351).

KONFLIKT INTERESÓW

YLW jest pracownikiem Essilor International w Singapurze. Pozostali autorzy nie zgłaszają żadnego konfliktu interesów.

INFORMACJE DODATKOWE

Informacje uzupełniające Wersja internetowa zawiera materiały uzupełniające dostępne pod adresem <https://doi.org/10.1038/s41433-022-02219-8>.

Korespondencję i prośby o materiały należy kierować do Mohammada Hassana Emamiana.

Informacje dotyczące przedruków i zezwoleń są dostępne na stronie <http://www.nature.com/reprints>.

Uwaga wydawcy Springer Nature zachowuje neutralność w odniesieniu do roszczeń jurysdykcyjnych dotyczących opublikowanych map i powiązań instytucjonalnych.

Springer Nature lub jego licencjodawca posiada wyłączne prawa do niniejszego artykułu na mocy umowy wydawniczej zawartej z autorem (autorami) lub innym posiadaczem praw; samodzielne archiwizowanie przez autora zaakceptowanej wersji manuskryptu niniejszego artykułu podlega wyłącznie warunkom takiej umowy wydawniczej i obowiązującym przepisom prawa.