

mgr Sylwia Kropacz-Sobkowiak

Wpływ średnich i wysokich addycji w wieloogniskowych soczewkach kontaktowych na parametry widzenia jednoocznego i obuocznego

Rozprawa na stopień naukowy doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu
w dyscyplinie nauki o zdrowiu

Promotor: dr hab. n. o zdr. Jan Olszewski

Zakład Bioniki i Eksperymentalnej Biologii Medycznej
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Promotor pomocniczy: dr hab. n.med. Anna Przekoracka-Krawczyk, prof. UAM

Laboratorium Fizyki Widzenia i Optometrii, Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu



Kolegium Nauk o Zdrowiu
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Poznań, 2021

SPIS TREŚCI

SPIS STOSOWANYCH SKRÓTÓW	4
WSTĘP	6
1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE	8
1.1. Definicja i klasyfikacja krótkowzroczności	8
1.2. Etiologia i czynniki ryzyka krótkowzroczności	10
1.3. Epidemiologia krótkowzroczności i konsekwencje dla zdrowia publicznego	11
1.4. Progresja krótkowzroczności	12
1.5. Przyczyny progresji krótkowzroczności	12
1.6. Metody korekcji krótkowzroczności	14
1.7. Metody kontroli progresji krótkowzroczności	15
2. CELE PRACY	20
3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ	21
3.1. Osoby badane i kryteria włączenia	21
3.2. Badane soczewki kontaktowe	23
3.3. Procedury badań	24
3.3.1. Procedury eksperymentu 1	25
3.3.1.1. Badanie podstawowych funkcji wzrokowych	25
3.3.1.2. Badanie parametrów widzenia obuocznego	27
3.3.1.3. Badanie aberracji rogówki niższego i wyższego rzędu	31
3.3.2. Procedury eksperymentu 2	34
3.3.2.1. Badanie funkcji wzrokowych i widzenia obuocznego	34
3.3.2.2. Badanie wzrokowych potencjałów wywołanych	34
3.3.2.3. Badanie ankietowe jakości widzenia	37
3.4. Analiza statystyczna	38

4. WYNIKI EKSPERYMENTU 1	40
4.1. Wyniki podstawowych funkcji wzrokowych	40
4.2. Wyniki parametrów widzenia obuocznego	47
4.3. Wyniki pomiarów topograficznych	55
5. WYNIKI EKSPERYMENTU 2	62
5.1. Wyniki podstawowych funkcji wzrokowych i widzenia obuocznego	62
5.2. Wyniki Wzrokowych Potencjałów Wywołanych	70
5.3. Wyniki badań ankietowych jakości widzenia	75
6. DYSKUSJA	79
6.1. Eksperyment 1	80
6.2. Eksperyment 2	89
7. WNIOSKI OGÓLNE	92
8. STRESZCZENIE	93
9. ZAŁĄCZNIKI	97
10. BIBLIOGRAFIA	107
11. SPIS TABEL	116
12. SPIS RYCIN	117
13. SPIS WYKRESÓW	119

SPIS STOSOWANYCH SKRÓTÓW

- AA** analizowany obszar (ang. Analyzed Area)
- AC/A** stosunek konwergencji akomodacyjnej do akomodacji (ang. Accommodative convergence/accommodation)
- ADD** addycja (ang. addition)
- ADD0** addycja zero dioptrii (ang. addition zero diopter)
- ADD2** addycja +2.0 dioptrie (ang. addition +2.0 diopter)
- ADD4** addycja +4.0 dioptrie (ang. addition +4.0 diopter)
- AULCSF** pole powierzchni pod krzywą logarytmiczną funkcji wrażliwości na kontrast (ang. area under the log contrast sensitivity function)
- BC** rogówka bez soczewki (ang. base cornea)
- BN** baza pryzmatu do nosa
- BS** baza pryzmatu do skroni
- cd/m²** kandela na metr kwadratowy, jednostka luminancji
- cpd** cykle na stopień (ang. cycles per degree)
- cpm** cykle na minutę (ang. cycles per minute)
- CZ** średnica strefy centralnej (ang. central zone)
- CZ3** średnica strefy centralnej 3 mm (ang. 3 millimeter central zone)
- CZ4.5** średnica strefy centralnej 4.5 mm (ang. 4.5 millimeter central zone)
- D** dioptria- jednostka zdolności skupiającej układu optycznego (jednostka wady refrakcji)
- EEG** elektroencefalografia (ang. electroencephalography)
- EOG** elektrookulografia (ang. electrooculography)
- GE** grupa elektrod (ang. electrode group)
- hEOG** elektrody horyzontalne okulograficzne (ang. horizontal electrooculography)
- HOAs** aberracje wyższego rzędu (ang. Higher Order Aberrations)
- Hz** Herc- jednostka miary częstotliwości
- LCD** wyświetlacz ciekłokrystaliczny (ang. liquid-crystal display)
- LOAs** aberracje niskiego rzędu (ang. Lower Order Aberrations)
- LogMAR** logarytm minimalnego kąta rozdzielczości (ang. Logarithm of the Minimum Angle of Resolution)

MFSCLS wielogniskowe miękkie soczewki kontaktowe (ang. Multifocal Soft Contact Lenses)

PD dioptrie pryzmatyczne (ang. Prism Diopter)

RMS średnia kwadratowa (ang. Root Mean Square)

SG strona głowy

SVS jednoogniskowe sferyczne soczewki kontaktowe (ang. Single Vision Spherical)

vEOG elektrody wertykalne okulograficzne (ang. vertical electrooculography)

VFQ-25 kwestionariusz funkcjonowania związanego z widzeniem, 25 pytań (ang. Visual Function Questionnaire-25)

VEP Wzrokowe potencjały wywołane (ang. Visual evoked potentials)

WSTĘP

Krótkowzroczność jest jednym z problemów zdrowia publicznego XXI wieku [1], która może stać się najważniejszą globalną przyczyną nieodwracalnej ślepoty w 2050 roku [2]. Od kilkudziesięciu lat naukowcy obserwują wzrost częstości występowania krótkowzroczności wśród dzieci w wieku szkolnym [3, 4] szczególnie w populacjach miejskich [5].

Epidemia krótkowzroczności jest tak ważnym problemem zdrowotnym, że znalazła się na liście priorytetów Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization) [6], a Światowa Rada Optometrii (ang. World Council of Optometry) wydała rezolucję wzywającą specjalistów ochrony wzroku na świecie do prowadzenia kontroli progresji krótkowzroczności, jako standardowej usługi w opiece nad pacjentem [7]. Krótkowzroczność jest główną przyczyną upośledzenia widzenia do dali, którego można uniknąć. Jakkolwiek sama krótkowzroczna wada wzroku jest głównie niedogodnością wymagającą korekcji, to jednak jej osiowy charakter (krótkowzroczność osiowa) jest związany ze zwiększającą się długością osiową gałki ocznej, a co za tym idzie, wzrostem częstotliwości występowania poważnych patologii oka [1]. Uważa się, że specjaliści ochrony wzroku powinni stosować wszystkie dostępne metody do kontroli progresji krótkowzroczności [7, 8] oraz, że każda nawet jedna dioptria wady wzroku mniej, ma znaczenie dla jakości życia i zdrowia oczu pacjenta w przyszłości [9]. Chociaż wszystkie czynniki i ich dokładna rola w progresji krótkowzroczności nie są jeszcze w pełni poznane [10], jakość widzenia jest uważana za ważny czynnik regulujący wzrost długości osiowej gałki ocznej, która jest główną przyczyną progresji krótkowzroczności [11].

Jedną z metod hamowania progresji krótkowzroczności są miękkie wieloogniskowe soczewki kontaktowe, z centralną strefą do dali. Takie soczewki w swojej peryferyjnej części posiadają dodatkową moc plusową (addycję), której celem jest korekcja nadwzroczności w obwodowej części siatkówki [12]. Nadwzroczne rozogniskowanie na obwodzie siatkówki jest uważane za jedną z przyczyn stymulujących wzrost długości gałki ocznej, a tym samym wzrost wady krótkowzrocznej [11]. Koncepcja hamowania przyrostu krótkowzroczności poprzez korekcję nadwzrocznego rozogniskowania na obwodzie siatkówki zakłada, że można by

uzyskać lepszy efekt kontroli przy zastosowaniu większych addycji mocy w peryferyjnej części soczewki kontaktowej [13]. Hipoteza ta została częściowo potwierdzona klinicznie [14], dla małych i średnich addycji.

Wiele soczewek kontaktowych wieloogniskowych stosowanych obecnie do kontroli progresji krótkowzroczności posiada rejestrację do korekcji wady, a nie jej kontroli, co oznacza, że są one aplikowane jako produkty „off-label” czyli poza wskazaniami zawartymi w charakterystyce produktu [15]. Wyniki globalnej ankiety przeprowadzonej wśród specjalistów wykazały, że w ciągu ostatnich 8 lat wzrosła liczba dopasowań soczewek kontaktowych do kontroli progresji krótkowzroczności. Prawie połowa soczewek stosowana w tym celu na świecie, to soczewki miękkie wieloogniskowe o konstrukcji z centrum do dali [16]. Soczewki wieloogniskowe do kontroli progresji krótkowzroczności mogą potencjalnie osiągnąć znaczący sukces komercyjny ze względu na możliwość seryjnej produkcji (w przeciwieństwie do soczewek ortokeratologicznych) oraz prostotę aplikacji, wygodę użytkowania i rosnącą dostępność [13].

W większości badań z miękkimi wieloogniskowymi soczewkami do kontroli progresji krótkowzroczności stosuje się małe lub średnie addycje (od +1,50 do +2,50 dioptrii) w konstrukcjach o stałym rozmiarze centralnej strefy do dali (zwykle od 3,0 mm do 3,5 mm) [14, 17, 18]. Powodem stosowania małego i średniego dodatku jest przekonanie, że wysoka addycja może zaburzać funkcje wzrokowe, takie jak ostrość wzroku, wrażliwość na kontrast, czy też akomodację [19]. Istnieje również obawa, że pacjenci mogą odczuwać dyskomfort nosząc soczewki o wysokiej addycji [20].

W praktyce optometrycznej/okulistycznej specjaliści mogą dopasowywać pacjentom wieloogniskowe soczewki kontaktowe o wysokich dodatkach mocy w części obwodowej. Takie soczewki mogą potencjalnie zapewnić lepszy skutek terapeutyczny hamowania progresji krótkowzrocznej wady wzroku. Brakuje jednak badań naukowych, które pozwoliłyby dokładniej określić ich wpływ na funkcje wzrokowe.

1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

1.1. Definicja i klasyfikacja krótkowzroczności

Krótkowzroczność jest wadą wzroku, w której, przy rozluźnionej akomodacji oka, równoległa wiązka promieni światła wpadająca do oka, skupiana jest przed siatkówką (rycina nr 1). Krótkowzroczność może wynikać ze zbyt długiej gałki ocznej (krótkowzroczność osiowa) lub ze zbyt dużej mocy refrakcyjnej struktur oka (np. rogówki i/lub soczewki wewnątrzgałkowej), wówczas jest to krótkowzroczność refrakcyjna. Skutkiem takiego niedopasowania długości gałki ocznej do mocy łamiącej oka jest nieostre widzenie przedmiotów położonych poza punktem dalekim oka [21].



Rycina nr 1. Schemat oka krótkowzrocznego, promienie światła równoległe do osi widzenia skupiają się przed siatkówką oka.

Standardowo, wadę krótkowzroczną określa się w wartościach ujemnych, a jednostką, w której ją wyrażamy jest dioptria (D). Uważa się, że krótkowzroczność to wada wzroku ≤ -0.50 D, chociaż w badaniach naukowych, w których pomiar wady refrakcji przeprowadza się bez cykloplegii (porażenia akomodacji oka za pomocą środków farmakologicznych) i badane są osoby młode, zaleca się wyznaczenie wyższego progu mierzonej wady (np. ≤ -0.75 D lub nawet ≤ -1.0 D) [21].

Krótkowzroczność możemy klasyfikować ze względu na jej wielkość, rodzaj oraz wieku, w którym pojawia się wada wzroku.

Aktualnie zaleca się podział krótkowzroczności ze względu na wielkość wady na:

- krótkowzroczność niską - stan, w którym ekwiwalent sferyczny wady refrakcji oka jest ≤ -0.50 D i > -6.00 D przy rozluźnionej akomodacji oka,
- krótkowzroczność wysoką - stan, w którym ekwiwalent sferyczny wady refrakcji oka jest ≤ -6.00 D przy rozluźnionej akomodacji oka [21].

Warto jednak zaznaczyć, że w wielu badaniach naukowych oraz w definicji przyjętej przez Światową Organizację Zdrowia, krótkowzroczność wysoka jest definiowana jako wada refrakcji oka ≤ -5.00 D [6].

Ponadto bardzo często wyróżnia się krótkowzroczność patologiczną (dotychczas była ona definiowana jako wysoka krótkowzroczność), której towarzyszą związane z nią nieprawidłowości na dnie oka [6]. Obecnie krótkowzroczność patologiczną określa się jako nadmierne wydłużenie gałki ocznej, któremu towarzyszy krótkowzroczność i które prowadzi do zmian patologicznych w tylnym odcinku oka. Najnowsza definicja podkreśla większe znaczenie długości osiowej gałki ocznej jako czynnika zmian degeneracyjnych na dnie oka [22].

Krótkowzroczność możemy też podzielić ze względu na wiek pojawienia się wady wzroku na:

- krótkowzroczność wrodzoną - obecną w wieku niemowlęcym, bardzo często ma ona podłoże genetyczne lub jest związana np. z przedwczesnym urodzeniem i retinopatią wcześniaków [23],
- krótkowzroczność nabytą - najczęściej dotyczącą krótkowzroczności tzw. szkolnej, czyli wady wzroku pojawiającej się u dzieci w wieku szkolnym i narastającej do wieku dojrzewania [22].

Dodatkowo w ostatnich latach definiuje się również stan przed wystąpieniem krótkowzroczności (ang. pre-myopia). Określa się go jako stan refrakcji oka, które nie jest jeszcze krótkowzroczne, jednakże połączenie czynników ryzyka oraz tendencji wzrostu długości osiowej gałki ocznej wskazuje na duże ryzyko progresji wady w kierunku krótkowzroczności [24].

1.2. Etiologia i czynniki ryzyka krótkowzroczności

Czynniki etiologiczne krótkowzroczności można podzielić na genetyczne i środowiskowe.

1. Czynniki genetyczne i etniczne

Istnieje ponad 150 genetycznych zespołów chorobowych, w których wysoka krótkowzroczność występująca w rodzinie jest cechą charakterystyczną [25]. Badania na dużych populacjach (np. Beaver Dam Eye Study) wskazują na wpływ wielu czynników genetycznych na występowanie krótkowzroczności [26].

Ponadto ryzyko wystąpienia i progresji krótkowzroczności jest silnie skorelowane z występowaniem krótkowzroczności u rodziców. Ryzyko to wzrasta 5-6 krotnie u dzieci posiadających obojga rodziców krótkowzrocznych w porównaniu do dzieci rodziców bez krótkowzroczności [27-29].

Pochodzenie etniczne (głównie azjatyckie w porównaniu do rasy kaukaskiej) jest również związane zarówno z wpływem krótkowzroczności u rodziców na występowanie krótkowzroczności u dzieci [27], jak i na ogólną podatność na występowanie wady krótkowzrocznej oraz jej progresję [30].

2. Czynniki środowiskowe

Długotrwała aktywność z bliskich odległości (np. czytanie, pisanie) zwiększa ryzyko zarówno wystąpienia, jak i progresji krótkowzroczności [31]. Jakkolwiek mechanizm odpowiedzialny za pojawienie się krótkowzroczności nie jest jeszcze w pełni poznany to uważa się, że na progresję krótkowzroczności może mieć wpływ ociążanie się akomodacji (stan, w którym odpowiedź akomodacji jest mniejsza niż bodziec do akomodacji) podczas pracy z bliska i będąca jej konsekwencją zwiększona nadwzroczność na całej powierzchni siatkówki [31].

Aktywność w świetle dziennym jest istotnym czynnikiem chroniącym przed pojawieniem się krótkowzroczności u dzieci, co ważne, nie ma tutaj znaczenia rodzaj aktywności, a jedynie czas spędzany w świetle dziennym [32, 33]. Natomiast sama aktywność sportowa lub inna aktywność wymagająca patrzenia daleko, ale wykonywana w pomieszczeniach zamkniętych nie chroni już przed pojawieniem się krótkowzroczności [33]. Obecnie zaleca się, aby dzieci spędzały średnio 2 godziny dziennie w świetle dziennym, ponieważ badania pokazały, że jest to czas dający istotny

efekt ochronny przed wystąpieniem krótkowzroczności [32-34]. Jedną z obecnie badanych hipotez ochronnego działania światła dziennego na pojawienie się krótkowzroczności jest zwiększone uwalnianie dopaminy w siatkówce oka [31].

Nie ma jednak jednoznacznych i silnych dowodów naukowych na ochronny wpływ aktywności w świetle dziennym przed progresją już obecnej krótkowzroczności [31].

1.3. Epidemiologia krótkowzroczności i konsekwencje dla zdrowia publicznego

Obecnie uważa się, że 33% ludzi na świecie jest krótkowzrocznych, a 4 % ma wysoką krótkowzroczność [2]. Szacuje się też, że w 2050 roku ponad połowa (52%) populacji ludzi na świecie będzie krótkowzroczna, a 10% będzie miało wysoką krótkowzroczność [2].

Częstotliwość występowania krótkowzroczności w Europie wzrosła w ostatnich dekadach i osiągnęła poziom 45-50% w grupie osób w wieku 25-29 lat [35]. Przewiduje się, że w 2050 roku częstotliwość występowania krótkowzroczności osiągnie 56% w Europie zachodniej, 54% w Europie centralnej oraz 50% we wschodniej części Europy [2]. Częstotliwość występowania krótkowzroczności zwiększa się znacząco u osób od 6 roku życia, a najwyższy odsetek pojawienia się krótkowzroczności notowany jest w grupie wiekowej 7-10 latków. U większości dzieci wada wzroku szybko postępuje (średnio 0.41 D na rok w grupie dzieci rasy kaukaskiej w Europie). Wada wzroku zazwyczaj zaczyna się stabilizować w wieku 15-18 lat, jednak pełne zatrzymanie się progresji wady dla większości krótkowidzów występuje dopiero w wieku 24 lat. Nie dotyczy to jednak osób z wysoką krótkowzrocznością, u których wada może stale postępować [1].

Krótkowzroczność jest główną przyczyną upośledzenia widzenia do dali, którego można uniknąć [1]. Wysoka krótkowzroczność (powyżej -6.0 D) zwiększa ryzyko makulopatii krótkowzrocznej ponad 40-krotnie, odwarstwienia siatkówki 21-krotnie, natomiast ryzyko wstąpienia ogólnie chorób oczu zwiększa się u pacjentów z wadą powyżej -8.0 D aż 10-krotnie [10]. Jednak nie tylko wysoka krótkowzroczność stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia oczu, ponieważ już nawet wada wzroku do

-3.0 D zwiększa kilkakrotnie ryzyko makulopatii (2-krotnie), odwarstwienia siatkówki (3-krotnie), jaskry (1.6-krotnie), zaćmy (2-krotnie), czy ogólnie chorób oczu (4-krotnie) [10]. Ponadto makulopatia jest najszybciej rosnącą przyczyną utraty widzenia na świecie [36].

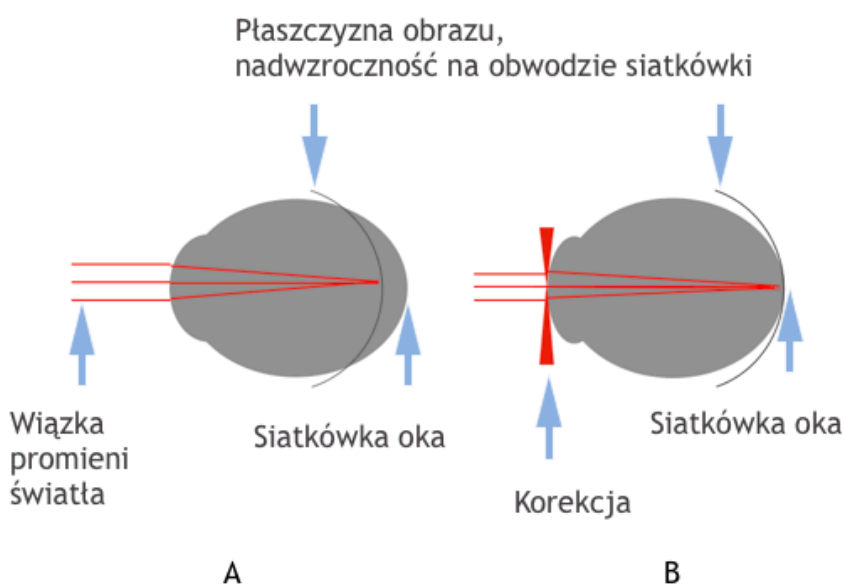
1.4. Progresa krótkowzroczności

Spodziewana progresja krótkowzroczności u dzieci z aglomeracji miejskich w wieku szkolnym wynosi średnio -0.55 D dla dzieci pochodzenia europejskiego, natomiast dla dzieci pochodzenia azjatyckiego wynosi ona -0.82 D na rok [37]. Wiadomo też, że krótkowzroczność postępuje szybciej u dzieci, u których wada wzroku wystąpiła wcześniej. Jeśli krótkowzroczność pojawia się np. w wieku 7-8 lat, to jej progresja wynosi średnio -0.55 D na rok, natomiast dla krótkowzroczności pojawiającej się w wieku 12 lat, progresja w ciągu roku to już tylko około -0.25 D na rok [38]. Badanie na populacji dzieci europejskich (Dream Study) pokazało, że osoby, u których pierwsza korekcja krótkowzroczności (za pomocą okularów) pojawiła się przed 10 rokiem życia, charakteryzowały się największą progresją wady wzroku (-0.50 D na rok) oraz największą wadą wzroku w wieku dorosłym [39]. Ponadto wszystkie osoby, u których korekcja przed 10 rokiem życia była większa lub równa -3.00 D w wieku dorosłym miały wysoką krótkowzroczność [39].

1.5. Przyczyny progresji krótkowzroczności

Chociaż wszystkie czynniki i ich dokładna rola w progresji krótkowzroczności nie są jeszcze w pełni poznane [10], jakość widzenia jest uważana za ważny czynnik regulujący wzrost długości osiowej gałki ocznej, która jest główną przyczyną progresji krótkowzroczności [11]. Badania pokazują, że u osób nadwzrocznych i miarowych peryferyjna (na obwodzie siatkówki) względna refrakcja jest przesunięta bardziej w kierunku krótkowzroczności w porównaniu do refrakcji centralnej. Natomiast w oczach krótkowzrocznych refrakcja peryferyjna jest przesunięta zdecydowanie w kierunku nadwzroczności, zaś kształt tylnej części oka jest bardziej wydłużony [40, 41]. Uważa się więc, że ta względna nadwzroczność peryferyjna jest jednym z głównych czynników zarówno pojawienia się, jak i progresji krótkowzroczności,

ponieważ sygnał wzrokowy docierający do rozległych obszarów części obwodowej siatkówki reguluje wzrost długości gałki ocznej. W tym procesie regulacji i wzrostu osiowej długości gałki ocznej bierze udział zarówno siatkówka, naczyniówka jak i twardówka oka [42]. Podczas korekcji krótkowzroczności za pomocą jednoogniskowych soczewek okularowych lub jednoogniskowych soczewek kontaktowych, w części centralnej siatkówki płaszczyzna obrazu przesuwana jest w kierunku siatkówki, natomiast w części obwodowej za siatkówkę (rycina nr 2). Prowadzi to do zwiększenia się nadwzrocznego rozogniskowania obrazu na obwodowej części siatkówki. W efekcie tego procesu może dojść do stymulacji gałki ocznej do wydłużania się, a tym samym progresji krótkowzroczności [43].



Rycina nr 2. Schemat oka krótkowzrocznego przed korekcją (A) i po korekcji jednoogniskowymi soczewkami okularowymi lub soczewkami kontaktowymi (B).

Warto jednak podkreślić, że przez wielu badaczy hipoteza rozogniskowania nadwzrocznego na obwodzie siatkówki, jako czynnika powodującego pojawienie się krótkowzroczności oraz jej progresję jest kwestionowana [44, 45].

Zarówno pojawienie się krótkowzroczności jak i progresja tej wady wzroku może być zależna od parametrów akomodacji oraz widzenia obuocznego. Osłabiona lub nieadekwatna do bodźca odpowiedź akomodacji (ociąganie się akomodacji) może powodować nadwzroczne rozogniskowanie na siatkówce podczas aktywności z bliskich odległości (np. czytania) i w konsekwencji stymulować wzrost długości gałki ocznej

[46, 47]. Wysoki ułamek AC/A (stosunek konwergencji akomodacyjnej do akomodacji (ang. accommodation convergence - AC, accommodation - A) jest wyższy u dzieci krótkowzrocznych, w porównaniu do dzieci bez wady wzroku. Ponadto zauważono podwyższenie ułamka A/CA już na kilka lat (4 lata) przed pojawieniem się krótkowzroczności [46, 48]. Dokładny mechanizm wpływu akomodacji oraz widzenia obuocznego na pojawienie się krótkowzroczności oraz jej progresję nie jest jeszcze w pełni poznany. Zalecane jest jednak badanie wyżej wymienionych parametrów widzenia zarówno u osób z grupy ryzyka wystąpienia krótkowzroczności, osób z progresją krótkowzroczności, jak i osób, u których planuje się lub stosuje metody kontroli progresji krótkowzroczności [49].

Co istotne, jakość widzenia jest uważana za bardzo ważny czynnik regulujący zwiększenie długości osiowej gałki ocznej (a tym samym wzrost krótkowzroczności) [11]. Jakość obrazu siatkówkowego zależy zarówno od aberracji niskiego rzędu ang. Lower Order Aberrations (LOAs), tj. głównie rozogniskowania i astygmatyzmu, a także aberracji wyższego rzędu ang. Higher Order Aberrations (HOAs), tj. głównie komy oraz aberracji sferycznej [50]. Chociaż związek między HOAs a rodzajem wady refrakcji nie jest w pełni wyjaśniony [51], wieloletnie badania na populacjach dzieci pokazują, że wyższe HOAs mogą być związane z wolniejszym wzrostem długości osiowej oka [52-54]. Zbadano już, że obecnie stosowane metody kontroli progresji krótkowzroczności mają tendencję do zwiększania HOAs [55]. Wzrost HOAs obserwowano zarówno w przypadku metod farmakologicznych tj. atropiny [56], jak i optycznych, takich jak ortokeratologia [54, 57, 58] czy wielogniskowe miękkie soczewki kontaktowe [59]. Biorąc pod uwagę, że wymienione powyżej interwencje stosowane do kontroli krótkowzroczności mają wpływ na HOAs oraz hipotezę, że wzrost HOAs może mieć wpływ na proces terapeutyczny [60], istnieje potrzeba zbadania zmian HOAs wywołanych podczas stosowania metod kontroli progresji krótkowzroczności.

1.6. Metody korekcji krótkowzroczności

Krótkowzroczą wadę wzroku można korygować za pomocą zarówno metod optycznych, jak i chirurgicznych. Jednak w przypadku dzieci stosuje się głównie

metody optyczne takie jak *okulary* lub *soczewki kontaktowe*. Okulary jednoogniskowe, stanowią jedną z najprostszycch w dopasowaniu i akceptacji metodę korekcji wady krótkowzrocznej, jednak nie hamują one progresji wady, i to zarówno, jeśli są one dopasowane tak, aby w pełni ją korygować, przekorygować (stosowanie większej korekcji niż aktualna wada wzroku), jak i niedokorygować (korekcja jedynie części wady wzroku). Prace przeglądowe jasno pokazują, że metody niedokorygowania, jak i przekorygowania nie powinny być stosowane, ponieważ mogą one zwiększać ryzyko progresji krótkowzroczności [8]. Soczewki kontaktowe jednoogniskowe zarówno miękkie jak i sztywne również mogą być stosowane u dzieci, jednak podobnie, jak jednoogniskowe okulary nie hamują one przyrostu wady wzroku. Inną formą korekcji krótkowzroczności jest zastosowanie soczewek ortokeratologicznych sztywnych, które zmieniają geometrię rogówki podczas użytkowania ich w czasie snu, w taki sposób aby w ciągu dnia (bez soczewki na oku), wada wzroku była skorygowana. Taka metoda korekcji zwana jest ortokeratologią i ma udowodnioną skuteczność w hamowaniu progresji krótkowzroczności [8], co będzie omówione w kolejnym podrozdziale.

1.7. Metody kontroli progresji krótkowzroczności

Obecnie najczęściej zalecane i stosowane metody kontroli progresji krótkowzroczności to takie metody, które uzyskują skuteczność hamowania progresji o około 50% lub większą. Należą do nich zarówno metody optyczne jak i farmakologiczne.

1. *Atropina o niskim stężeniu* - podawana jest najczęściej w stężeniu 0,01%, 0,025% lub 0,05%. Ma ona udowodnioną skuteczność w hamowaniu progresji krótkowzroczności, przy czym wyższe stężenia charakteryzują się większą efektywnością [61]. Stosowanie atropiny wymaga noszenia okularów lub soczewek kontaktowych korygujących wadę wzroku. Uważa się, że u około 10% [62] dzieci atropina może nie być skuteczna w hamowaniu progresji krótkowzroczności. Samo stosowanie atropiny może powodować efekty uboczne takie jak np. rozszerzenie źrenic, fotofobie, obniżoną odpowiedź akomodacji oraz działania niepożądane takie jak np. alergiczne zapalenie spojówki i rogówki, suchość i zmiany skórne, uczucie suchości w ustach i gardle,

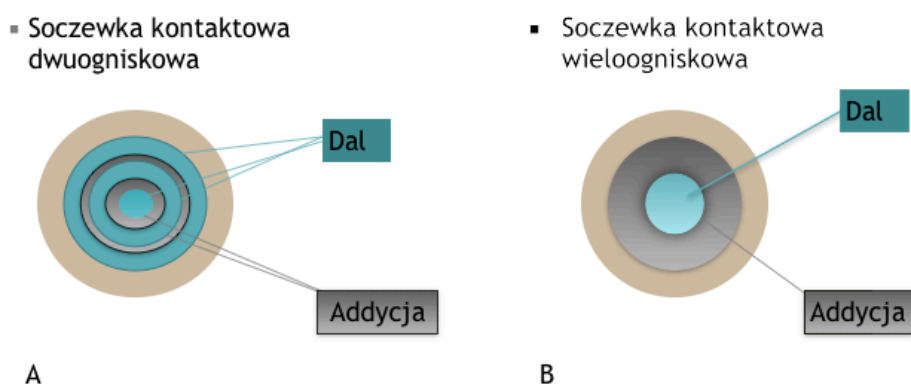
ogólne rozdrażnienie czy nawet tachykardię. Dodatkowo po zaprzestaniu stosowania atropiny obserwowany jest tzw. efekt odbicia, czyli szybszego przyrostu wady wzroku [8, 62].

2. *Okulary dwuogniskowe, progresywne oraz okulary korygujące nadwzroczność peryferyjną* Rolą okularów dwuogniskowych lub progresywnych jest głównie niwelowanie zamazania obrazu wynikającego z niedostatecznej odpowiedzi akomodacji. Jednak ich skuteczność w hamowaniu progresji wady nie została jednoznacznie udowodniona [8, 62, 63]. Cheng i wsp. wykazali natomiast, że połączenie korekcji dwuogniskowej z pryzmatami z bazami skierowanymi w stronę nosa, może skutecznie hamować przyrost krótkowzroczności u pacjentów z szybko postępującą wadą wzroku [64]. Ponadto niedawno wprowadzone do sprzedaży soczewki okularowe korygujące nadwzroczność peryferyjną (np. Defocus Incorporated Multiple Segments - DIMS) są obiecującą metodą kontroli progresji krótkowzroczności (ich skuteczność szacowana jest na około 60%) [65].

3. *Soczewki kontaktowe ortokeratologiczne* projektowane indywidualnie dla pacjenta i stosowane podczas snu mogą hamować progresję krótkowzroczności. Uważa się, że mechanizm hamowania progresji wady w ortokeratologii polega na wytworzeniu większej krótkowzroczności na obwodzie siatkówki, poprzez tymczasowe przemieszczenie/przesunięcie płynu w komórkach nabłonka rogówki w kierunku peryferyjnym. Skuteczność hamowania wzrostu długości osiowej gałki ocznej za pomocą ortokeratologii jest szacowany średnio na 50% [17, 62, 63]. Stosowanie ortokeratologii jest związane ze zwiększonym ryzykiem mikrobowego zapalenia rogówki, które wynosi 7.7 na 10 000 lat użytkowania przez pacjenta¹ [66]. Ponadto często występującą zmianą w ortokeratologii jest punktowa epiteliopatia rogówki, osady z ferrytyny na rogówce, a także przejściowe zmiany biomechaniki rogówki oka [62, 67, 68].

¹ Lata użytkowania to liczba pacjentów x ilość lat użytkowania soczewek kontaktowych przez pacjentów.

4. *Wieloogniskowe lub dwuogniskowe miękkie soczewki kontaktowe* (ang. Multifocal Soft Contact Lenses - MFSClS) są skuteczne w korekcji oraz kontroli progresji krótkowzroczności u dzieci. Soczewka taka, w centrum ma moc korygującą centralne rozogniskowanie krótkowzroczne, podczas gdy dodatkowa moc umieszczona w paracentralnej części soczewki kontaktowej ma za zadanie wytworzenie rozogniskowania krótkowzrocznego na obwodowej części siatkówki [69] (rycina nr 3 A i B).



Rycina nr 3. Schemat konstrukcji soczewki kontaktowej dwuogniskowej z centrum do dali (A). Schemat budowy soczewki kontaktowej wieloogniskowej z centrum do dali (B).

MFSClS do kontroli progresji krótkowzroczności mogą mieć różne konstrukcje: wieloogniskowe z centrum do dali, dwuogniskowe z centrum do dali, konstrukcja ze zwiększoną głębią ostrości oraz wiele innych modyfikacji tych konstrukcji [18]. Głównym celem we wszystkich konstrukcjach MFSClS do kontroli krótkowzroczności jest uzyskanie rozogniskowania krótkowzrocznego na siatkówce obwodowej, przy jednoczesnej korekcji centralnej wady refrakcji w okolicy plamki [18]. Jakkolwiek żadna metoda kontroli krótkowzroczności nie jest skuteczna dla wszystkich pacjentów [70], to jednak wyniki wielu badań wykazały znaczący efekt kontroli tej wady wzroku przy zastosowaniu MFSClS z centrum do dali [71]. Według danych z badań klinicznych, MFSClS mogą spowolnić progresję krótkowzroczności od 21% do 77% [70], przy czym średni efekt kontroli tej wady zazwyczaj utrzymuje się na poziomie 50% [72]. Różnice w wynikach skuteczności kontroli krótkowzroczności pomiędzy badaniami mogą wynikać z zastosowania różnych konstrukcji MFSClS oraz

metodologii badań. Ponadto, większość badań prowadzona jest na seryjnie produkowanych soczewkach kontaktowych, przy których nie ma możliwości dostosowania parametrów soczewek kontaktowych (np. średnicy strefy centralnej, średnicy soczewki, promienia krzywizny bazowej czy mocy addycji) do indywidualnej wielkości i geometrii rogówki, wielkości źrenic, wielkości wady krótkowzrocznej, czy wielkości rozogniskowania nadwzrocznego na obwodzie siatkówki badanych osób.

Dokładny mechanizm hamowania przyrostu krótkowzroczności przez MFSCLS nie jest jeszcze w pełni poznany [10]. Badania pokazują, że manipulacja stanem refrakcji obwodowej siatkówki może wpływać na wzrost długości osiowej gałki ocznej, który jest wolniejszy, gdy względne rozogniskowanie krótkowzroczne jest tworzone na większej powierzchni peryferyjnej części siatkówki [69]. Zgodnie z tym modelem, w przypadku stosowania MFSCLS do kontroli progresji krótkowzroczności, w celu maksymalizacji efektu kontroli, należałoby stosować małą strefę centralną (korygującą krótkowzroczność w centrum) i wysoką addycję (ADD) w części obwodowej soczewek. Pozytywny wpływ wielkości ADD na skuteczność kontroli progresji krótkowzroczności został już potwierdzony w wieloletnich badaniach klinicznych przeprowadzonych na dzieciach stosujących soczewki z ADD o wartości +1.50 i +2.50 D [14]. Nadal jednak w większości badań stosuje się małe lub średnie ADD (od +1,50 D do +2,50 D), a wielkość strefy centralnej jest zazwyczaj stała (zwykle od 3,0 mm do 3,5 mm) [14, 17, 18]. Powodem stosowania małych i średnich ADD jest przekonanie, że wysokie ADD mogą zaburzać funkcje wzrokowe, takie jak ostrość wzroku, wrażliwość na kontrast czy akomodację [19]. Ponieważ akomodacja jest silnie sprzężona z wergencją [73-75], osłabienie odpowiedzi akomodacyjnej może upośledzać wergencję prowadząc do zwiększenia exoforii do bliży oraz pogorszenia stereopsji [76, 77]. Istnieje również obawa, że pacjenci mogą odczuwać dyskomfort nosząc soczewki o wysokim ADD [20]. W związku z powyższym oprócz badania obiektywnych parametrów funkcji wzrokowych niezwykle ważne jest sprawdzanie subiektywnych odczuć użytkowników różnych konstrukcji soczewek kontaktowych do kontroli progresji krótkowzroczności [17].

5. *Łączenie metod kontroli progresji krótkowzroczności.* W celu zwiększenia skuteczności hamowania progresji krótkowzrocznej wady wzroku obecnie rekomenduje się łączenie kilku metod. Zazwyczaj łączy się metodę farmakologiczną (atropina) z jedną z metod optycznych. Pierwsze dostępne wyniki badań, w których stosowane są metody łączone kontroli progresji krótkowzroczności wskazują na większy efekt hamowania progresji wady wzroku. Jednak dalsze prace w tym temacie są potrzebne, aby móc dokładnie określić zarówno bezpieczeństwo, jak i skuteczność łączenia metod kontroli progresji krótkowzroczności [8].

2. CELE PRACY

Głównym celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu średnich i wysokich addycji (+2.00 D, +4.00 D) oraz różnych rozmiarów centralnej strefy optycznej (3 mm i 4.5 mm) w indywidualnie projektowanych MFSClS przeznaczonych do kontroli progresji krótkowzroczności, na podstawowe funkcje wzrokowe u osób dorosłych. Celem szczegółowym eksperymentu nr 1 było sprawdzenie czy powyżej opisane soczewki wpływają na podstawowe funkcje wzrokowe, parametry widzenia obuocznego oraz aberracje rogówki. Spodziewano się, że MFSClS zwłaszcza o wysokiej addycji znacząco osłabią widzenie, głównie peryferyjne, jak i wpłyną na osłabienie akomodacji oraz zwiększenie forii. Z drugiej strony możliwe było, że tak wysoki dodatek jak +4,00 D może być „ignorowany“ przez układ wzrokowy, przez co podstawowe funkcje wzrokowe nie będą mocno zaburzone.

Celem szczegółowym eksperymentu nr 2, było sprawdzenie w jakim stopniu układ wzrokowy adoptuje się do MFSClS z wysokimi addycjami (+4.00 D) po upływie 2 tygodni noszenia soczewek. Wpływ procesu adaptacji do badanych soczewek oceniono poprzez testy subiektywne, oceniające funkcje widzenia jednoocznego i obuocznego oraz poprzez metodę obiektywną elektroencefalografii. Spodziewano się, że stosowanie MFSClS przez wiele godzin dziennie w ciągu 2 tygodni spowoduje polepszenie funkcji wzrokowych i chociażby część parametrów wzrokowych ulegnie poprawie w procesie przystosowania się układu wzrokowego do wprowadzonej zmiany.

3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Protokół badania był zgodny z zasadami Deklaracji Helsińskiej i został zatwierdzony przez Komisję Bioetyczną przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu (załącznik nr 1). Wszyscy badani otrzymali wyjaśnienie dotyczące celu i charakteru badania oraz wyrazili pisemną zgodę na jego przeprowadzenie.

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Fizyki Widzenia i Neuronauki Centrum NanoBioMedycznego na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

3.1. Osoby badane i kryteria włączenia

W badaniu wzięły udział osoby dorosłe bez prezbiopii, należące do społeczności akademickiej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Kryteriami włączenia do badania były: emmetropia lub krótkowzroczność nie większa niż $-6,00$ D, astygmatyzm regularny nie większy niż $-1,00$ D, skorygowana ostrość wzroku do dali i ostrość wzroku do bliży wyrażona miarą logarytmiczną (logMAR) lepsza lub równa $0,0$ (co odpowiada pełnej ostrości wzroku $20/20$), brak zaburzeń akomodacji i/lub widzenia obuocznego oraz brak chorób oczu lub chorób ogólnoustrojowych w wywiadzie. Ponadto osoby zakwalifikowane do badania nie mogły stosować żadnych leków, które mogłyby znacząco wpłynąć na komfort noszenia soczewek jak i wyniki badanych parametrów. Wcześniejsze doświadczenie w użytkowaniu soczewek kontaktowych nie było wymagane.

W celu kwalifikacji wykonano badania optometryczne (przez optometrystę, autora pracy) oraz badanie okulistyczne (przez lekarza okulistę) po porażeniu akomodacji.

Do eksperymentu nr 1 oraz eksperymentu nr 2 zakwalifikowano 48 osób (po 24 osoby w każdym eksperymencie) i wszystkie one ukończyły badanie. W każdej grupie było 20 kobiet (83,3%) i 4 mężczyzn (16,6%). Średnia wieku w grupie wynosiła 23,9 lat (zakres od 20 do 36 lat) w eksperymencie 1 i 24,0 lat (zakres od 20-36 lat) w eksperymencie 2. Średni ekwiwalent sferyczny wady refrakcji dla uczestników eksperymentu 1 wynosił $-1,08 \pm 1,83$ D, średni astygmatyzm $-0,25$ D, a średnia ostrość wzroku do dali $-0,17$ logMAR, natomiast dla uczestników eksperymentu 2 średni

ekwiwalent sferyczny wady refrakcji wynosił $-1,13 \pm 1,80$ D, średni astygmatyzm $-0,25$ D, a średnia ostrość wzroku do dali $-0,13$ logMAR.

Parametry geometrii rogówki oraz źrenic w milimetrach (mm) oraz mikrometrach (μm) dla osób badanych w eksperymencie nr 1 i nr 2 zbadane za pomocą keratografu (Keratograph®4, OCULUS Optikgeräte GmbH, Niemcy) zostały przedstawione odpowiednio w tabeli nr 1 oraz tabeli nr 2.

Tabela nr 1. Parametry topografii rogówki oraz ich odchylenia standardowe (SD) dla oka prawego oraz oka lewego w eksperymencie 1

	Kf (mm)	Ks (mm)	K max (mm)	Ast (D)	ECC	Średnica rogówki (mm)	Średnica źrenicy (mm)	SAG (μm)	AA (%)
Średnia-oko prawe	7,88	7,71	44,19	1,02	0,57	11,84	3,31	1736,24	63,95
SD	0,25	0,27	1,45	0,65	0,12	0,43	0,49	69,61	7,65
Średnia oko lewe	7,87	7,72	44,14	0,88	0,59	11,82	3,22	1734,71	64,24
SD	0,24	0,25	1,37	0,43	0,10	0,40	0,43	66,78	6,00

Kf- płaski promień krzywizny rogówki, Ks- stromy promień krzywizny rogówki, Kmax- maksymalna moc keratometrii rogówki, Ast- astygmatyzm rogówki, ECC- średnia ekscentryczność rogówki dla 30 stopni, SAG- wysokość sagitalna rogówki dla cięciwy 10 mm, AA - obszar analizowany

Tabela nr 2. Parametry topografii rogówki oraz ich odchylenia standardowe (SD) dla oka prawego oraz oka lewego w eksperymencie 2

	Kf (mm)	Ks (mm)	K max (mm)	Ast (D)	ECC	Średnica rogówki (mm)	Średnica źrenicy (mm)	SAG (μm)	AA (%)
Średnia-oko prawe	7,87	7,72	44,09	0,96	0,59	11,79	3,29	1735,43	63,52
SD	0,25	0,26	1,41	0,51	0,11	0,41	0,50	69,58	7,65
Średnia -oko lewe	7,86	7,72	44,10	0,86	0,60	11,79	3,28	1734,86	64,38
SD	0,24	0,25	1,37	0,40	0,09	0,38	0,40	66,81	6,00

Kf- płaski promień krzywizny rogówki, Ks- stromy promień krzywizny rogówki, Kmax- maksymalna moc keratometrii rogówki, Ast- astygmatyzm rogówki, ECC- średnia ekscentryczność rogówki dla 30 stopni, SAG- wysokość sagitalna rogówki dla cięciwy 10 mm, AA - obszar analizowany

3.2. Badane soczewki kontaktowe

W badaniu stosowano produkowane na indywidualne zamówienie MFSClS oraz jednoogniskowe sferyczne soczewki kontaktowe (ang. Single Vision Spherical - SVS) firmy SwissLens (SwissLens SA, Prilly, Szwajcaria). Soczewki MFSClS zostały zaprojektowane z dwoma różnymi średnicami strefy centralnej CZ (ang. central zone) do dali (3,0 mm i 4.5 mm, nazywane odpowiednio CZ3 i CZ4.5) i dwoma różnymi mocami ADD umieszczonej w peryferyjnej w części soczewek +2,00 D i +4,00 D, nazwane później odpowiednio ADD2 i ADD4. Soczewki SVS o mocy plano z zerowym dodatkiem były stosowane jako kontrolne soczewki kontaktowe.

Konstrukcja soczewek MFSClS została zaprojektowana z wielomianową progresją w peryferyjnej strefie soczewki, charakteryzującą się szybszą progresją mocy optycznej przy wyższych wartościach ADD. Wszystkie parametry i szczegóły konstrukcyjne zastosowanych soczewek przedstawiono w publikacjach [78, 79] oraz w tabeli nr 3.

Tabela nr 3. Parametry soczewek kontaktowych zastosowanych w badaniu

Parametry soczewek	Soczewki jednoogniskowe (SVS)	Soczewki wieloogniskowe (MFSClS)
Nazwa soczewki	Orbis	Relax
Material	Contaflex GM3 58% (Acofilcon A)	Contaflex GM3 58% (Acofilcon A)
Promień krzywizny bazowej/ średnica	8.6 mm/14.2 mm	8.6 mm/14.2 mm
Moc do dali	Plano	Plano
Średnica strefy do dali (CZ)	Nie dotyczy	3.0 mm i 4.5 mm
Moc addycji (ADD)	Nie dotyczy	+2.00 D i +4.00 D

W eksperymencie nr 1 badania przeprowadzano po 1 godzinie adaptacji do czterech rodzajów soczewek kontaktowych: MFSClS z mocami AAD2 z centralną strefą CZ3 i CZ4.5 oraz z mocami ADD4 ze strefą centralną CZ3 i CZ4.5. Ponadto każdy z uczestników eksperymentu był badany w soczewkach jednoogniskowych o mocy plano, zwanymi dalej ADD0.

W eksperymencie nr 2 badano osoby po 2 tygodniach użytkowania jednego rodzaju soczewek MFSCLS o dużych addycjach (ADD4) i dużej średnicy strefy centralnej (CZ4.5) do dali.

W eksperymencie nr 2 połowa uczestników stanowiła grupę kontrolną i była badana w soczewkach ADD0.

3.3. Procedury badań

Badanie zostało zaprojektowane jako prospektywne z randomizacją i podwójnie zaślepioną próbą. Zarówno w eksperymencie nr 1 jak i w eksperymencie nr 2 wszystkie badania zostały przeprowadzone na 3 osobnych spotkaniach (1 spotkanie: kwalifikacyjne i 2 spotkania pomiarowe). Wszystkie pomiary były wykonywane w tym samym pomieszczeniu, w tych samych warunkach oświetleniowych, przy użyciu tych samych metod i urządzeń pomiarowych. Badani byli kodowani za pomocą cyfr i symboli przez jednego z badaczy (promotora pomocniczego), przez co zarówno autorka pracy, jak i badani nie mieli informacji o tym, jaki rodzaj soczewki był używany podczas pomiarów. Podczas wizyty kwalifikacyjnej (spotkanie 1) przeprowadzono pełne badanie optometryczne i okulistyczne (badanie akomodacji oraz obuocznych funkcji wzrokowych, pomiary topografii rogówki oraz pełną ocenę przedniego i tylnego odcinka oka wraz z obiektywnym badaniem refrakcji po porażeniu akomodacji). Podczas badań głównych (spotkanie 2 i 3) dopasowano soczewki kontaktowe i oceniono ich centrację oraz ruchomość na oku przy użyciu lampy szczelinowej. Dodatkowo w celu dokładniejszej oceny centracji soczewek kontaktowych na oku i oceny położenia strefy centralnej soczewek względem źrenicy, wykonano topografię rogówki z założonymi soczewkami na oku oraz pomiary wielkości źrenicy w warunkach fotopowych za pomocą keratografu (Keratograph®4, OCULUS Optikgeräte GmbH, Niemcy). Wszystkie pomiary głównej części badawczej były wykonywane po jednej godzinie adaptacji do założonych soczewek kontaktowych w eksperymencie 1 oraz po 2 tygodniach noszenia soczewek w eksperymencie 2.

3.3.1. Procedury eksperymentu 1

3.3.1.1. Badanie podstawowych funkcji wzrokowych

U każdego z badanych wykonano następujące badania: obuoczną ostrość wzroku do dali i bliży, test peryferyjnej wrażliwości na kontrast, odpowiedź akomodacji i sprawność akomodacji.

Każdy pomiar wykonano u tego samego uczestnika z 3 wielkościami ADD (ADD0, ADD2 i ADD4) oraz w okularach korekcyjnych, jeśli były one konieczne do korekcji wady refrakcji. Połowa badanych miała zakładane MFSCLS ze strefą centralną CZ3 a druga połowa z strefą centralną o średnicy CZ4.5.

Ostrość wzroku

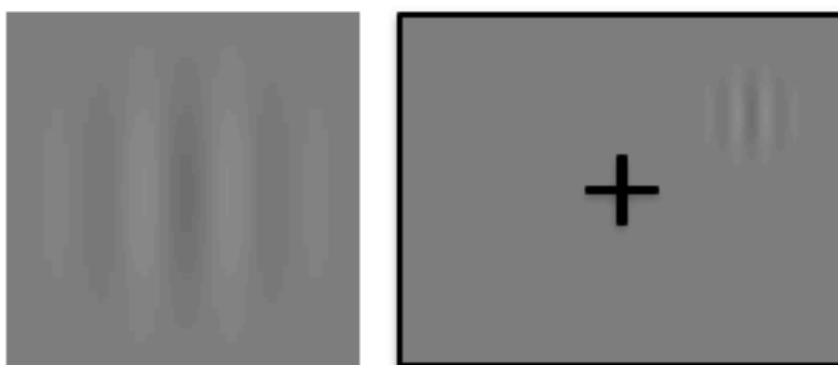
Obuoczna ostrość wzroku była mierzona z odległości 5 m przy użyciu testu obrotowego E prezentowanego na wyświetlaczu optotypów Frey CP-600P oraz z odległości 0,4 m przy użyciu testu LEA SYMBOLS® Near Vision CardLea VA. Następnie wyniki pomiarów zarówno ostrości wzroku do dali jak i ostrości wzroku do bliży były przeliczone na jednostki logMAR. Testy ostrości wzroku wykonywano w warunkach wysokiego kontrastu przy standardowym oświetleniu pomieszczenia.

Peryferyjna wrażliwość na kontrast

Test peryferyjnej wrażliwości na kontrast został zaprojektowany w oparciu o metodę stosowaną przez Schumachera i wsp. [80]. Pomiar wykonywano obuocznie w ciemnym pomieszczeniu po 5 minutach adaptacji do ciemności, a średni poziom luminancji monitora wynosił 90,16 (cd/m²). Bodźce obserwowane przez osobę badaną były prezentowane na monitorze (monitor 19" iiyama HM903DT A CRT, o rozdzielczości 1920x1440 pikseli oraz częstotliwość odświeżania 80 Hz), który znajdował się w odległości 1,5 m od oczu badanego. Bodźcem był specjalnie zaprojektowany pionowy wzór Gabora (rycina nr 4) o rozmiarze 0,7 stopnia kąтового prezentowany na szarym tle. Bodziec pojawiał się w jednej z czterech możliwych pozycji (lewa górna, prawa górna, lewa dolna lub prawa dolna) w odległości 3 stopni kątowych od centralnego krzyża fiksacji o rozmiarze 1 stopnia kąтового. Częstotliwości przestrzenne wzoru Gabora wynosiły: 2.0, 4.5, 6.0, 7.5 i 10 cykli na

stopień (ang. cycles per degree - cpd). Wzory Gabora zostały stworzone za pomocą generatora online (<http://www.cogsci.nl/gabor-generator>), natomiast wyświetlanie bodźców zostało zaprogramowane i zarejestrowane w oprogramowaniu Presentation® v1.9 (Neurobehavioral Systems, Inc, Berkeley, CA, USA).

Osoba badana była proszona o określenie położenia plamy Gabora poprzez naciśnięcie jednego z przycisków na klawiaturze numerycznej (7,9,1,3). Nowa plama Gabora była wyświetlana po odpowiedzi badanego lub po 1,5 sekundy od pojawienia się poprzedniego bodźca. Próg częstotliwości przestrzennej wrażliwości na kontrast został wyznaczony metodą schodów.



Rycina nr 4. Wzór Gabora (z lewej), przykład prezentacji bodźców na ekranie (z prawej).

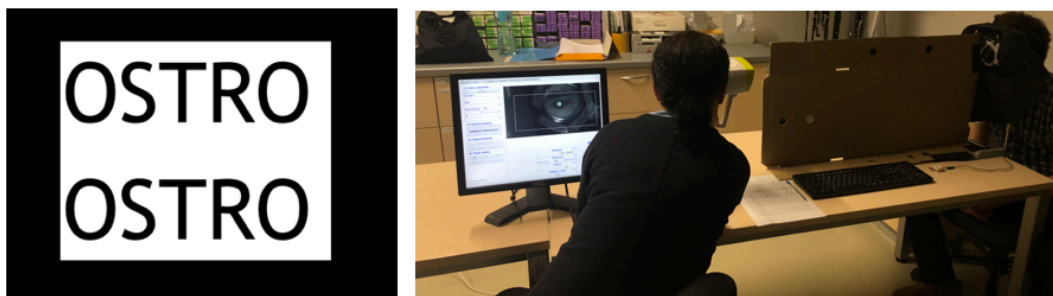
Sprawność akomodacji

Obuoczną sprawność akomodacji mierzono przy użyciu flippera akomodacyjnego o mocy sferycznej $\pm 2,00$ D. Badany obserwował tekst z literami o wielkości odpowiadającej ostrości wzroku 20/30, prezentowany w odległości 0,4 m. Pozycja flippera była zmieniana po zgłoszeniu przez badanego uzyskania wyraźnego obrazu. Notowana była liczba cykli (zmian od $+2,00$ D do $-2,00$ D) na minutę (ang. cycles per minute - cpm).

Odpowiedź akomodacji

Konsensualną odpowiedź akomodacji mierzono metodą fotorefrakcji za pomocą autorefraktometru (PlusOptix A09, Plusoptix Inc. Atlanta, GA, USA). Stan refrakcji lewego oka był mierzony w korekcji własnej osoby badanej (bez soczewki kontaktowej), a autorefraktometr był ustawiony na wprost jej oka lewego. Badany obserwował bodziec do akomodacji okiem prawym (na które nałożona była badana

soczewka kontaktowa). Bodźcem do akomodacji była matryca składająca się z liter ustawionych w dwóch liniach (każda litera miała 0,36 stopnia kąтового), wyświetlanych na ekranie wyświetlacza ciekłokrystalicznego, (ang. liquid-crystal display - LCD) notebooka (MacBook Pro 13", Apple Inc. Cupertino, CA, USA).



Rycina nr 5. Cel fiksacji przy pomiarze odpowiedzi akomodacji konsensualnej (z lewej) oraz fotografia stanowiska pomiarowego (z prawej).

Badanego poinstruowano, aby przez cały czas trwania pomiaru utrzymywał wyraźny i czytelny obraz liter. W celu separacji obrazów z oka lewego i prawego zastosowano specjalną przegrodę, która uniemożliwiała badanym patrzeć na bodziec lewym okiem. Bodziec do akomodacji był umieszczony w odległości 5 m, 1 m i 0,4 m od prawego oka osoby badanej. Wykonano trzy pomiary dla każdej odległości badania, a następnie ich wyniki uśredniono. Odległość 5 m była traktowana jako referencyjny stan refrakcji (bodziec do akomodacji zerowy), a odpowiedź akomodacji obliczano jako różnicę pomiędzy odpowiedzią akomodacji dla 1 m (bodziec 1 D) a 5 m oraz pomiędzy odpowiedzią akomodacji dla 0,4 m (bodziec 2,5 D) a 5 m.

Głowa badanego była stabilizowana za pomocą podpórki pod brodę i czoło z maską rozdzielającą widzenie między okiem prawym i okiem lewym (rycina nr 5). Badanie przeprowadzono w ciemnym pomieszczeniu.

3.3.1.2. Badanie parametrów widzenia obuocznego

W badanych soczewkach wykonano serię pomiarów widzenia obuocznego, w tym: wartość heteroforii do dali i do bliży, zakresy wergencji fuzyjnej do dali i bliży, sprawność wergencji do bliży, niedokładność fiksacji do bliży, stereopsję do bliży oraz test równowagi stereoskopowej do dali. Testy do dali wykonywano z odległości 5 m przy

użyciu ekranu LCD (Freya CP-600P), a testy do bliży z odległości 0,4 m przy użyciu testu z kolumną pojedynczych liter (bodźce o wielkości odpowiadającej ostrości wzroku 20/30).

Wszystkie pomiary forii oraz zakresów wergencji mierzone były w dioptriach pryzmatycznych (ang. Prism Diopter - PD), znak minusowy oznaczał kierunek bazy pryzmatu ustawionego do nosa (BN), natomiast znak plusowy oznaczał kierunek bazy pryzmatu ustawionego w kierunku skroni (BS) osoby badanej.

Heteroforia

Forię do dali i do bliży mierzono trzykrotnie za pomocą testu pryzmatycznego i zapisywano ze znakiem minus dla exoforii oraz ze znakiem plus dla esoforii. Podczas badania uczestnik patrzył na punkt na ekranie monitora LCD, natomiast podczas pomiaru w bliży na jedną z liter na patyczku fiksacyjnym. Pomiar wykonano 3-krotnie a następnie uśredniono uzyskane wartości osobno dla dwóch odległości badania.

Zakresy wergencji fuzyjnej

Pomiary zakresów wergencji fuzyjnej do dali i do bliży wykonano za pomocą pryzmatów Risley'a w foropterze manulnym firmy Reichert. Przy pomiarze zakresów do dali badany obserwował pionową kolumnę liter (wielkość liter odpowiadała ostrości wzroku 20/30) wyświetlaną na ekranie LCD. Do pomiarów zakresów do bliży obserwowano kolumnę liter na tabliczce z bodźcami przymocowanej do foroptera. Badany był proszony o raportowanie zamazania, zerwania (zdwojenie) i odtworzenia (uzyskania ponownie pojedynczego obrazu) obserwowanej kolumny liter. Wykonano trzy pomiary dla każdej odległości z pryzmatami ustawionymi bazą do nosa (BN) oraz bazą do skroni (BS), a następnie wyniki uśredniono.

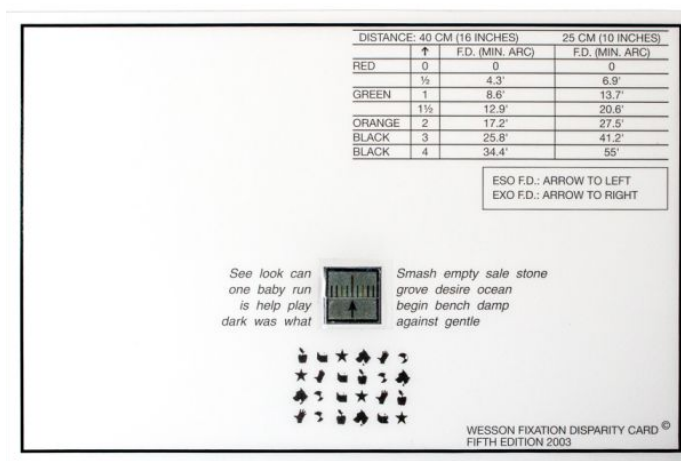
Sprawność wergencji

Pomiar sprawności wergencji wykonano z odległości 0,4 m przy użyciu flippera pryzmatycznego z pryzmatem o podstawie 3PD BN i 12PD BS. Badany był proszony o obserwowanie kolumny liter (wielkość liter odpowiadała ostrości wzroku 20/30) oraz o zgłaszanie uzyskania wyraźnego pojedynczego obrazu po każdej zmianie

położenia flippera pryzmatycznego. Zmierzono liczbę wykonanych zmian pryzmatów w ciągu 30 sekund i przeliczono na ilość cykli na minutę (cpm).

Niedokładność fiksacji

Niedokładność fiksacji (*ang. fixation disparity*) w poziomie mierzona była przy użyciu karty Wessona (*ang. Wesson Fixation Disparity Card*) trzymanej w odległości 0,40 m od oczu osoby badanej. Pomiary wykonywano w okularach z filtrami polaryzacyjnymi założonymi na okulary własne korekcyjne. Uczestnik był proszony o ocenę pozycji strzałki pod skalą pomiarową zbudowaną z pionowych linii (rycina nr 6). Pomiary wykonano trzy razy i zanotowano wynik w minutach kątowych, a następnie uśredniono.

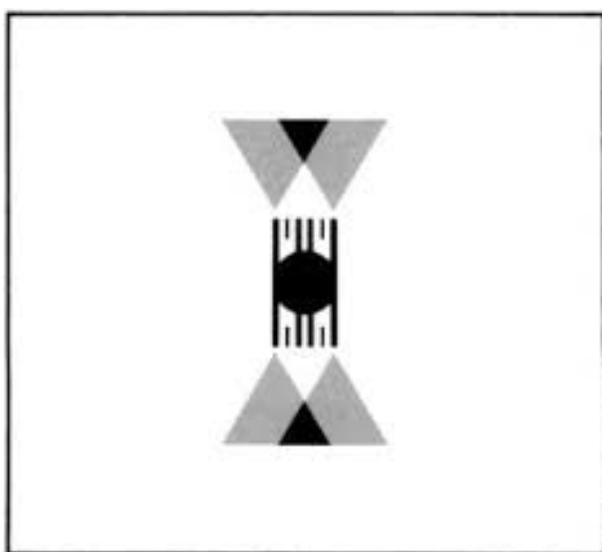


Rycina nr 6. Test do badania niedokładności fiksacji.

Test równowagi stereoskopowej

Test równowagi stereoskopowej MKH-Hasse (*ang. Measuring and Correcting Methodology after H.-J. Haase*) [81] ze skrzyżowaną dyseparacją stereoskopową wykonywany był z odległości 5 m (rycina nr 7). Test prezentowany był na ekranie LCD. Uczestnik miał założone filtry polaryzacyjne (na okulary własne) i był proszony o ocenę położenia trójkątów wyświetlanych na górze i na dole w stosunku do skali z pionowymi liniami wyświetlanymi na środku ekranu. Osoba badana mogła wskazać jedną z 6 linii na skali lub przestrzeń pomiędzy liniami.

Stan równowagi stereoskopowej (*ang. isovalance*) określano w sytuacji, gdy oba trójkąty wskazywały na linię środkową. Brak równowagi stereoskopowej (*ang. anisovalance*) był określany w sytuacji, gdy oba trójkąty wskazywały linię inną niż środkową. Wyniki pomiaru były zapisywane w wartościach procentowych (linia skrajna: 100%, druga od brzegu: 60% i linia znajdująca się najbliżej linii środkowej 40%). Zapisywano również kierunek braku równowagi stereoskopowej, jeśli była ona obecna (dla oka lewego ze znakiem minus lub dla oka prawego ze znakiem plus). Test wykonywano 3 razy, a następnie uśredniano uzyskane wyniki.



Rycina nr 7. Test równowagi stereoskopowej MKH-Hasse [82]

Stereopsja w bliży

Stereopsja w bliży wzrokowej (0,4 m) mierzona była przy użyciu testu Randot Paula Harrisa (Bernell, Stereo Optical Co, Chicago, IL, Special Edition). Na teście tym widoczne są okręgi składające się z losowo ułożonych kropek (stereogram punktów przypadkowych) o zakresie od 400 do 20 sekund kątowych. Test ten mierzy globalną stereopsję i jest bardziej czuły na małe zmiany w widzeniu przestrzennym niż testy konturowe [83]. Osoba badana miała założone filtry polaryzacyjne (na swoją korekcję okularową) i była proszona o ocenę, który okrąg zawiera głębię na stereogramach (wystaje lub jest wklęsły). Test wykonywany był trzy razy, a uzyskane wyniki uśredniono.

3.3.1.3. Badanie aberracji rogówki niższego i wyższego rzędu

Badanie aberracji rogówki niższego i wyższego rzędu

Każdy uczestnik badania został poddany badaniu topografii rogówki przy użyciu systemu placido keratografu (Keratograph®4, OCULUS Optikgeäte GmbH, Niemcy), zarówno bez soczewek kontaktowych, jak i z założonymi soczewkami kontaktowymi. Podczas badania głowa badanego była stabilizowana przy użyciu podpórki pod brodę i czoło. Przed wykonaniem pomiaru badany został poinstruowany, aby mrugnął kilka razy, a następnie szeroko otworzył oczy podczas wykonywania pomiaru. W każdych soczewkach kontaktowych wykonywano 3 pomiary topograficzne, następnie mapa o najlepszej jakości (najmniejszej ilości artefaktów) i najwyższym procencie analizowanego obszaru (ang. Analyzed Area - AA) była poddawana dalszej interpretacji. Ze względu na jakość uzyskanych obrazów (AA równa lub większa niż 50%) spośród wszystkich wykonanych map zakwalifikowano wyniki 21 z 24 badanych.

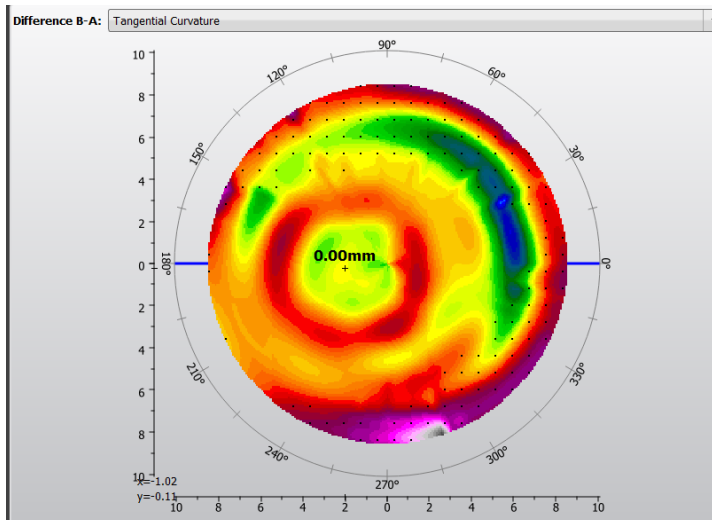
Wykonano analizę aberracji rogówki Zernikego w oparciu o zniekształcenia pierścieni placido odbitych od powierzchni rogówki (przeliczonych na mapy wysokości) [84]. Analizę tę przeprowadzono dla oka prawego, dla rogówki bez soczewek (BS) oraz dla każdego rodzaju badanych soczewek (ADD0, ADD2, ADD4). Badano całkowitą aberrację rogówki, jak i szczegółowe aberracje rogówki dla każdego rzędu aberracji w analizie Zernikego. Współczynniki całkowitej aberracji rogówki obliczono za pomocą oprogramowania Oculus Keratograph®4 w wersji 2.11.r3 (wyświetlane w trybie badania przesiewowego stożka rogówki) i analizowano dla każdej ADD (ADD0, ADD0 i ADD4) w grupie CZ3 i CZ4.5. Szczegółowo analizowano współczynniki Zernikego od 2. do 5. rzędu, dla maksymalnej średnicy źrenicy 6 mm i sfery (kształtu odniesienia) o promieniu równym średniemu promieniowi krzywizny rogówki. Współczynniki Zernikego były zapisywane zgodnie ze standardami numerowania i notacją Amerykańskiego Towarzystwa Optycznego (ang. The Optical Society of America - OSA) z ich n (rzędami) i m (częstotliwością kątową). Następnie dla każdego rzędu aberracji obliczono wartości aberracji średniokwadratowej (ang. Root Mean Square - RMS). Dla aberracji 2. rzędu analizowano tylko astygmatyzm, ponieważ rozogniskowanie jest łatwo korygowane optycznie w MFSClS, więc nie

stanowi istotnej zmiany z punktu widzenia zagadnień poruszanych w niniejszej rozprawie [59].

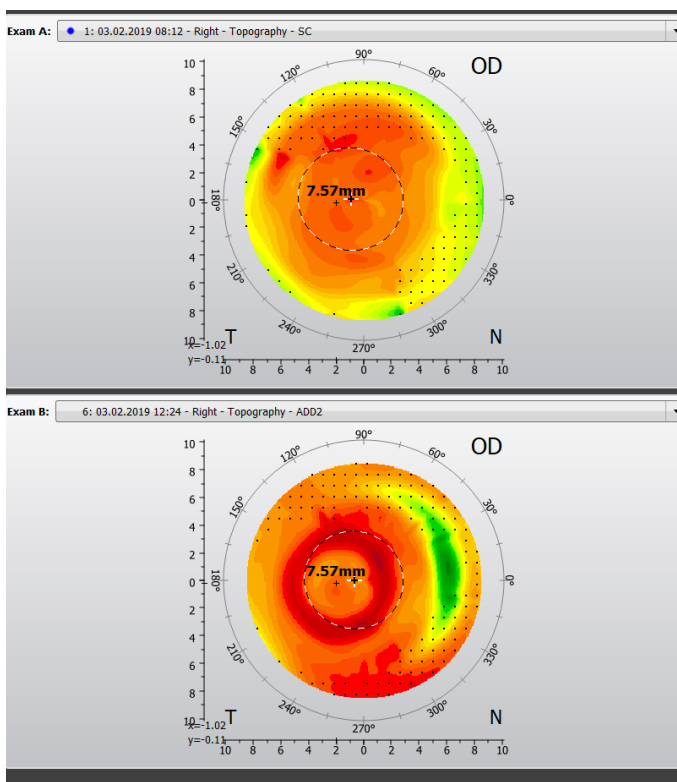
Ocena centracji soczewek

Dodatkowo wykonano analizę centracji badanych soczewek kontaktowych na rogówce oka. W tym celu przeprowadzono analizę map różnicowych tangencjalnych w skali znormalizowanej w krokach co 0.05 mm. Analizę wykonano dla prawego oka. Skorzystano z mapy tangencjalnej uzyskanej bez soczewki (BS) oraz map z MFSClS z ADD0, ADD2 i ADD4 dla obu CZ (CZ3 i CZ4.5). Prezentację za pomocą map tangencjalnych wybrano ze względu na fakt, iż pozwala ona zlokalizować małe zmiany w topografii rogówki [85]. Następnie dokonano analizy różnicowej map tangencjalnych, czyli od mapy bez soczewki kontaktowej odjęto mapę z ADD0, ADD2 i ADD4 dla obu CZ (CZ3 i CZ4.5). Uzyskano w ten sposób mapy różnicowe tangencjalne (BS-ADD0, BS-ADD2 i BS-ADD4) dla CZ3 i CZ4.5.

Za pomocą kursora myszki na mapie tangencjalnej różnicowej wskazywany był punkt (w pobliżu oszacowanego środka geometrycznego soczewki kontaktowej), dla którego zmierzona różnica krzywizny rogówki była równa zero (rycina nr 8). Równocześnie ze wskazaniem punktu (o różnicy krzywizny zero) na mapie różnicowej, na mapie z założoną soczewką odczytywano koordynaty na osi X i Y względem szczytu rogówki (rycina nr 9). Wyniki dla osi X oraz Y zostały zanotowane, znak ujemny dla osi X i Y oznaczał decentrację soczewki odpowiednio do skroni i do dołu, natomiast znak dodatni dla osi X i Y oznaczał decentrację soczewki do nosa i do góry. Pomiar taki wykonano trzy razy, a następnie wyniki uśredniono.



Rycina nr 8. Mapa różnicowa tagencjalna dla rogówki bez soczewki oraz z założoną soczewką kontaktową z ADD4 i CZ3 na oku prawym. Punkt z zaznaczoną wartością różnicy promieni krzywizny rogówki (0.00 mm) został uznany za punkt centralny soczewki kontaktowej.



Rycina nr 9. Mapa tangencjalna dla rogówki bez soczewki kontaktowej (górny obrazek) oraz mapa rogówki z założoną soczewką kontaktową z ADD4 i CZ3 (dolny obrazek) dla oka prawego, koordynaty X i Y dla wyznaczonego punktu względem szczytu rogówki (widoczne w lewym dolnym rogu mapy).

3.3.2. Procedury eksperymentu 2

W eksperymencie nr 2, uczestników podzielono losowo na dwie równe grupy (po 12 osób w każdej), pierwsza grupa miała dopasowane MFSClS z ADD4 i CZ4.5, natomiast druga grupa stanowiła grupę kontrolną i otrzymała soczewki kontaktowe SVS o mocy plano (ADD0). Podział uczestników na grupy został zakodowany, także zarówno uczestnicy jak i osoba badająca nie znała rodzaju dopasowanej soczewki kontaktowej. Wszyscy uczestnicy zostali poproszeni o noszenie soczewek kontaktowych przez 2 tygodnie w trybie dziennym (przez minimum 8 godzin dziennie). Każdy z uczestników otrzymał płyn oksydacyjny do pielęgnacji soczewek kontaktowych (AOSept Plus z HydraGlyde firmy Alcon) i został poinstruowany na temat prawidłowej pielęgnacji soczewek kontaktowych [86]. Płyn oksydacyjny został wybrany ze względu na niskie ryzyko wystąpienia odczynów alergicznych u badanych, brak konserwantów w płynie oraz na wysoki poziom skuteczności czyszczenia i dezynfekcji jaki dają oksydacyjne preparaty do pielęgnacji soczewek kontaktowych [87, 88].

Wszystkie pomiary zostały wykonane po dwóch tygodniach noszenia soczewek kontaktowych oraz w założonej dodatkowej korekcji okularowej badanego, jeśli miał on wadę refrakcji.

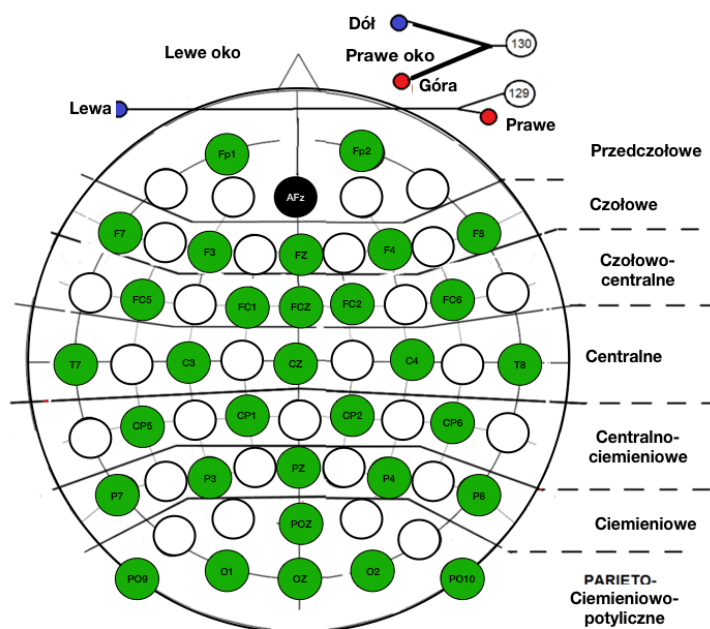
3.3.2.1. Badanie funkcji wzrokowych i widzenia obuocznego

W eksperymencie nr 2 przeprowadzono badania wybranych funkcji wzrokowych: ostrość wzroku do dali i bliży, odpowiedź akomodacji oraz pomiar peryferyjnej wrażliwości na kontrast. Dodatkowo przeprowadzono też badania forii do dali i bliży, stereopsji do bliży oraz zakresów wergencji. Wszystkie procedury badania zostały przeprowadzone w dokładnie taki sam sposób i w takich samych warunkach jak w eksperymencie 1 (rozdział 3.3.1.1. oraz 3.3.1.2.).

3.3.2.2. Badanie wzrokowych potencjałów wywołanych

Wzrokowe Potencjały Wywołane (ang. Visual Evoked Potential - VEP) zostały zmierzone za pomocą aparatury do rejestracji sygnału elektroencefalografii (EEG)

z aktywnymi elektrodami (wzmacniacz QuickAmp128, firmy Brain Products). U każdej badanej osoby wykonano pomiary obwodu czaszki w celu doboru odpowiedniego rozmiaru czepek oraz oznaczenia na czole miejsca położenia elektrod FP1, FP2 oraz Cz. Oznaczenie położenia i opisywanie elektrod EEG na skórze głowy wykonano zgodnie z międzynarodowym systemem 10-20. Następnie założono czepek, z 32 elektrodami (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F7, F8, FC5, FC1, FCZ, FC2, FC8, T7, C3, CZ, C4, T8, CP5, CP1, CP2, CP6, P7, P3, PZ, P4, P8, POZ, PO9, O1, OZ, O2, PO10) oraz elektrodą uziemiającą w pozycji AFz (rycina nr 10) i wypełniono elektrody żelom do EEG w celu zmniejszenia impedancji.



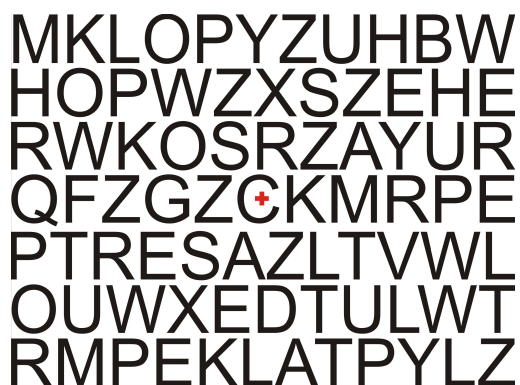
Rycina nr 10. Schemat rozmieszczenia elektrod.

Kolejnym etapem było oczyszczenie powierzchni skóry alkoholem izopropylowym oraz przymocowanie 4 bipolarnych elektrod okulograficznych (EOG) za pomocą pasty termoprzewodzącej. Horyzontalne elektrody (hEOG) zostały umieszczone w pobliżu zewnętrznego kącika oka prawego i lewego, natomiast wertykalne (vEOG) pod powieką dolną oraz nad łukiem brwiowym oka prawego. Za pomocą EOG rejestrowano ruchy horyzontalne oczu (hEOG) oraz ruchy wertykalne

i mrugnięcia (vEOG), co umożliwiło później oczyszczenie zapisu EEG z artefaktów ocznych.

Każde badanie składało się z 3 części. Pierwszą stanowił blok próbny (testowy), po czym wykonywano dwa bloki pomiarowe: z odległości pośredniej (2 m) oraz z blizy (0,4 m). Osoby z numerami parzystymi w pierwszej kolejności były poddawane badaniu do blizy a następnie do dali, natomiast osoby z nieparzystymi numerami rozpoczynały od badania do dali i następnie do blizy. Przed pomiarem osoba badana przez 10 minut adaptowała się do warunków oświetlenia (umiarkowanego) siedząc przed monitorem komputera w specjalnym pomieszczeniu do badań EEG.

Podczas wykonywania rejestracji EEG zadaniem uczestnika było wpatrywanie się w ekran monitora i niewykonywanie zbędnych ruchów w celu zmniejszenia ilości artefaktów. Na ekranie monitora (19" iiyama HM903DT A CRT, o rozdzielczości 1920x1440 pikseli oraz częstotliwość odświeżania 80 Hz) prezentowany był bodziec w postaci matrycy 77 liter Sloan z centralnie położonym krzyżem fiksacji (rycina nr 11). Każdy blok pomiarowy (badanie do dali i do blizy) składał się z serii 100 powtórzeń.



Rycina nr 11. Matryca liter- bodziec do pomiaru VEP

Eksperyment został zaprojektowany w oprogramowaniu Presentation® v1.9 (Neurobehavioral Systems, Inc, Berkeley, CA, USA), a sygnał EEG i EOG rejestrowany był w oprogramowaniu Vision Recorder (Brain Products).

Uzyskany sygnał EEG był analizowany off-line w oprogramowaniu (Brain Vision Analyzer, Brain Products). Na początku zapis pocięto na segmenty od -50 ms (milisekund) do +450 ms (względem pojawienia się bodźca). Następnie manualnie

usunięto segmenty z mrugnięciami i /lub ruchami oczu w momencie pojawienia się bodźca. W kolejnym kroku usunięto segmenty związane z ruchami oczu za pomocą ICA ocular correction (ang. Independent Components Analysis). W dalszym etapie sygnał przefiltrowano za pomocą filtra dolnoprzepustowego 40 Hz (Butterworth filter), w celu uzyskania sygnału związanego głównie z funkcjami wzrokowymi. Wykonano również korekcję linii bazowej sygnału w oknie od -100 ms do 0 ms oraz automatyczną korektę artefaktów przy warunkach progowych: maksymalny gradient 50 $\mu\text{V}/\text{ms}$ (mikrowolt/milisekundę), maksymalna różnica potencjałów 200 μV w oknie 200 ms, minimalna i maksymalna amplituda od -150 μV do +150 μV . Tak przygotowane segmenty uśredniono osobno dla odległości 2 i 0,4 m, w celu uzyskania zapisu VEP.

VEP można przedstawiać w postaci fali, która ma kształt następujących po sobie kolejno załamek zwanych komponentami, które opisuje się literami np. P i N. Komponenty P charakteryzują się dodatnią polaryzacją, natomiast komponenty N charakteryzują się ujemną polaryzacją. Numeracja komponentów 1, 2 itd. określa latencję komponentu, czyli kolejność pojawienia się po bodźcu w zapisie VEP.

3.3.2.3. Badanie ankietowe jakości widzenia

Ostatnim etapem eksperymentu było przeprowadzenie badania ankietowego jakości widzenia za pomocą ankiety National Eye Institute Visual Questionnaire-25 (VFQ-25) z dodatkowymi 11 pytaniami w wersji z 2000 roku [89]. Ankieta została przetłumaczona na język polski niezależnie przez dwie osoby, tłumaczenia te zostały porównane i wybrano sposób tłumaczenia, w którym znaczenie pytań i odpowiedzi zostało ocenione za najbardziej zbliżone do wersji anglojęzycznej. Następnie dokonano tłumaczenia ankiety ponownie na język angielski i porównano ją z wersją oryginalną. Ankieta użyta w badaniu stanowi załącznik nr 2 niniejszej rozprawy.

Zgodnie z instrukcją ankiety, badani sami odpowiadali na pytania, a w przypadku jakichkolwiek wątpliwości co do sensu pytania lub odpowiedzi proszeni byli o zapytanie osoby prowadzącej badanie. Badani zostali poproszeni, aby wszystkie odpowiedzi odnieśli do okresu dwóch tygodni, podczas których nosili testowane soczewki kontaktowe. Odpowiedzi badanych zostały pogrupowane i analizowane zgodnie z instrukcją z podręcznika ankiety VFQ-25 [90].

3.4. Analiza statystyczna

Analizę statystyczną danych przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA v.13.1 (Statsoft). Do oceny normalności rozkładu danych wykorzystano test Shapiro-Wilka. W zależności od uzyskanych wyników w eksperymencie nr 1 zastosowano nieparametryczny test Friedmana lub ANOVA z powtarzanymi pomiarami (dla pozostałych parametrów).

W eksperymencie nr 1 zdefiniowanymi czynnikami były: CZ (CZ3 i CZ4.5), ADD (ADD0, ADD2, ADD4), dla parametru ociągania się akomodacji: *bodziec do akomodacji (+1.0D, +2.50D)*; dla pomiarów zakresów wergencji: *typ odpowiedzi (zamazanie, zdwojenie i odtworzenie)*.

Wyniki pomiaru peryferyjnej wrażliwości na kontrast dla mierzonych częstotliwości przestrzennych bodźca zostały zlogarytmizowane, a następnie obliczono pole powierzchni pod krzywą logarytmiczną funkcji wrażliwości na kontrast (ang. area under the log contrast sensitivity function - AULCSF) [91].

Przy analizie odpowiedzi akomodacji obliczono nachylenie krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji. Następnie na podstawie wyników odpowiedzi akomodacji na daną odległość bodźca zostało obliczone ociąganie się akomodacji (różnica pomiędzy bodźcem do akomodacji a odpowiedzią do akomodacji).

Do analizy zależności pomiędzy decentracją soczewek kontaktowych a aberracjami rogówki zastosowano korelację Pearsona.

W eksperymencie nr 2 do oceny normalności rozkładu danych wykorzystano test Shapiro-Wilka. W zależności od uzyskanych wyników zastosowano nieparametryczny test U Manna Whitneya lub test t-studenta dla pozostałych parametrów. Natomiast w eksperymencie nr 2 zdefiniowanymi czynnikami były: ADD (ADD0, ADD4) *bodziec do akomodacji (+1.0D, +2.50D)* oraz *typ odpowiedzi (zamazanie, zdwojenie i odtworzenie)* dla zakresów wergencji.

Po wstępnej analizie zaobserwowano, że VEP przy obu odległościach obserwacji miały podobny przebieg, dlatego też zdecydowano się na wykonanie analizy sygnału z uśrednionych wyników z dwóch odległości. Taką uśrednioną analizę wykonano dla każdego z uczestników z osobna, a następnie uzyskane VEP zostały uśrednione osobno dla grupy z ADD0 oraz z ADD4.

Analizę statystyczną VEP (ANOVA dla układu z powtarzalnymi pomiarami) wykonano w oknach czasowych od 90 ms do 270 ms (co 20 ms) po wystąpieniu bodźca, dla 18 elektrod podzielonych na 6 grup (GE - grupa elektrod):

- grupa 1: elektrody Fp (Fp1, AFz, Fp2),
- grupa 2: elektrody F (F7, Fz, F8),
- grupa 3: elektrody Fc (Fc5, Fcz, Fc6),
- grupa 4: elektrody Cp (Cp5, Cz, Cp6),
- grupa 5: elektrody P (P7, Pz, P8),
- grupa 6: elektrody PO (PO9, Oz, PO10).

Zdefiniowanymi czynnikami była *grupa elektrod (GE)* oraz *strona głowy (SG)* (lewa, centrum, prawa).

Różnice uznawano za istotne, jeśli wartość p była równa lub mniejsza od 0,05.

4. WYNIKI EKSPERYMENTU 1

4.1. Wyniki podstawowych funkcji wzrokowych

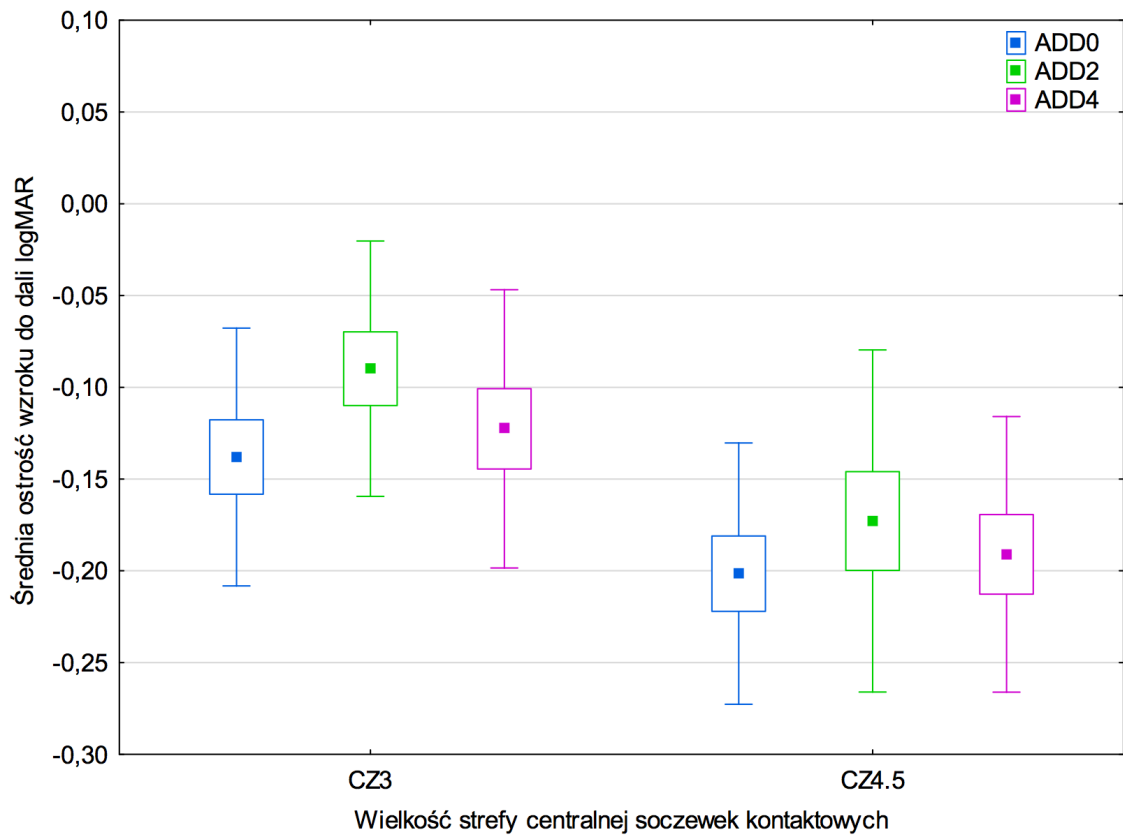
Wyniki pomiarów parametrów widzenia i funkcji wzrokowych z eksperymentu nr 1 zostały częściowo opublikowane czasopiśmie naukowym *Klinika Oczna* [92].

Ostrość wzroku

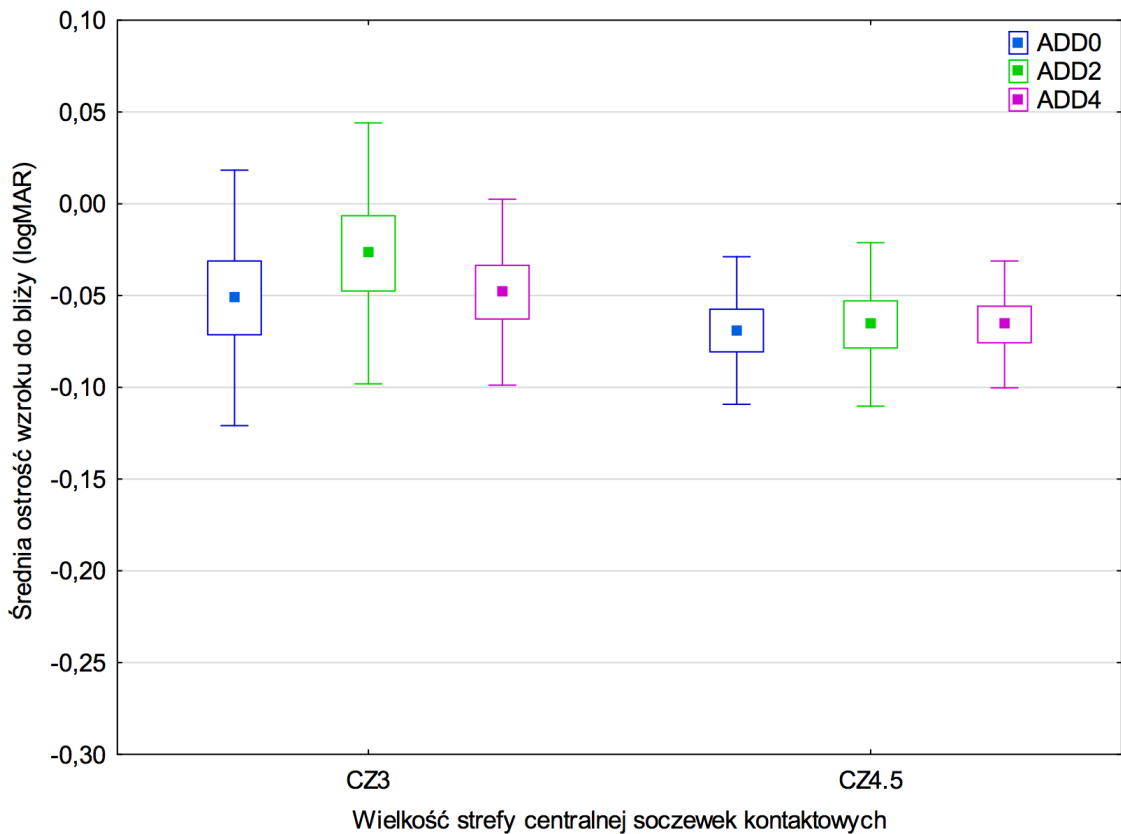
Wyniki pomiarów ostrości wzroku do dali zostały przedstawione na wykresie nr 1. Średnia ostrość wzroku do dali była gorsza w przypadku zastosowania MFSCl z małą strefą centralną CZ3 w porównaniu z dużą strefą centralną CZ4.5 ($p = 0,019$). Wartości ostrości wzroku do dali były także zależne od *ADD*, a efekt ten stwierdzono dla obu wielkości strefy centralnej (nieistotna statystycznie interakcja *CZ x ADD*, $p = 0,663$).

Soczewki kontaktowe z *ADD2* obniżały ostrość wzroku w porównaniu do soczewek kontaktowych z *ADD0* ($p = 0,004$). Nie zanotowano natomiast różnicy w ostrości wzroku pomiędzy *ADD0* a *ADD4* ($p = 0,481$).

Wyniki pomiaru ostrości wzroku do bliży przedstawiono na wykresie nr 2. Soczewki kontaktowe z *ADD2* nieznacznie zmniejszyły ostrość wzroku do bliży w porównaniu z soczewkami z *ADD0* i *ADD4* w obu *CZ* (*CZ3* i *CZ4.5*), jednakże efekt ten nie był istotny statystycznie. Średnia ostrość wzroku do dali dla *CZ3* była porównywalna dla każdej *ADD* ($p = 0,648$). Podobnie przy *CZ4.5* wartości te nie różniły się istotnie statystycznie między *ADD* ($p = 0,368$).



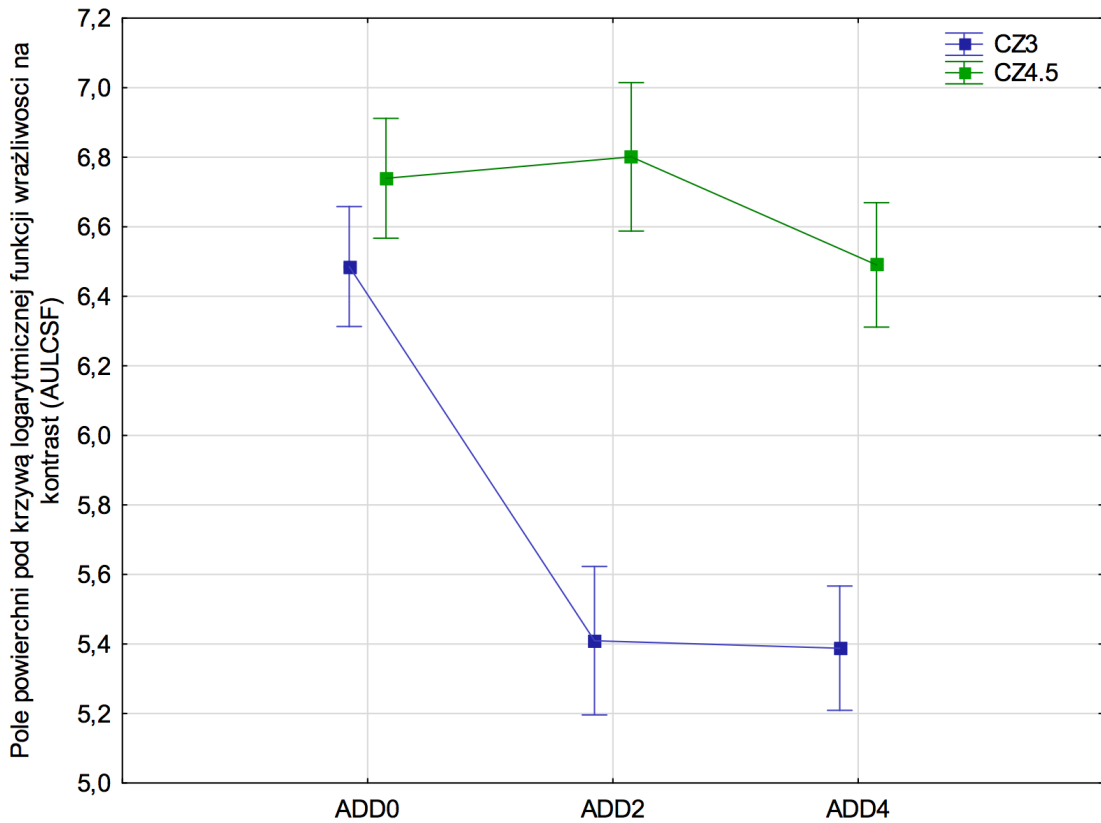
Wykres nr 1. Ostrości wzroku do dali w soczewkach z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach ze średnicą strefy centralnej CZ3 i CZ4.5. Prostokąty błędów przedstawiają odchylenie standardowe, wąsy przedstawiają błąd standardowy średniej. Źródło [92].



Wykres nr 2. Ostrości wzroku do blizy w soczewkach z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach ze średnicą strefy centralnej CZ3 oraz CZ4.5. Prostokąty błędów przedstawiają odchylenie standardowe, wąsy przedstawiają błąd standardowy średniej. Źródło [92].

Peryferyjna wrażliwość na kontrast

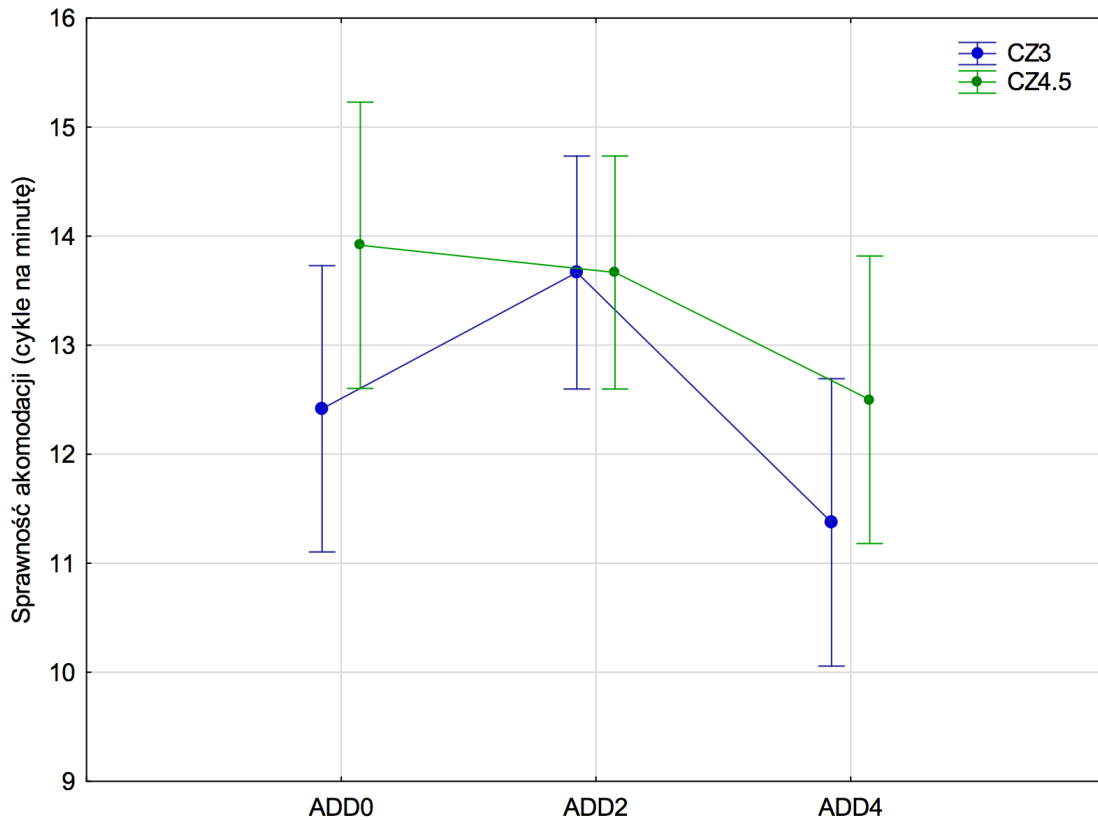
Wyniki pomiaru peryferyjnej wrażliwości na kontrast przedstawiono na wykresie nr 3. AULCSF było istotnie mniejsze dla CZ3 w porównaniu z CZ4.5 (6,7) ($p < 0,001$). AULCSF zmniejszała się także wraz ze wzrostem mocy dodatku w peryferyjnej części soczewki kontaktowej ($p < 0,001$). Dodatkowa analiza post-hoc wykazała, że średnie wartości AULCSF dla ADD0 były porównywalne pomiędzy CZ3 a CZ4.5 ($p = 0,931$). W grupie CZ3 zarówno soczewki ADD2 jak i ADD4 zmniejszyły AULCSF w równym stopniu w porównaniu do ADD0 ($p < 0,001$). Natomiast w grupie CZ4.5 nieznaczne obniżenie AULCSF zaobserwowano tylko w przypadku ADD4, przy czym efekt ten nie był istotny statystycznie ($p > 0,549$).



Wykres nr 3. Pole powierzchni pod logarytmiczną funkcją wrażliwości na kontrast (AULCSF) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4. Wąsy reprezentują błąd standardowy średniej. Źródło [92].

Sprawność akomodacji

Wartości sprawności akomodacji dla obu wielkości stref centralnych (CZ3 oraz CZ4.5) oraz zastosowanych dodatków zostały zaprezentowane na wykresie nr 4. Średnia wartość sprawności akomodacji dla CZ3 była niższa niż dla CZ4.5, jednakże różnica ta nie była istotna statystycznie ($p = 0,435$). Nie zauważono również wpływu wielkości ADD na sprawność akomodacji, co pokazuje nieistotny statystycznie efekt główny *ADD* ($p = 0,321$) oraz nieistotną statystycznie interakcję *CZ x ADD* ($p = 0,751$).



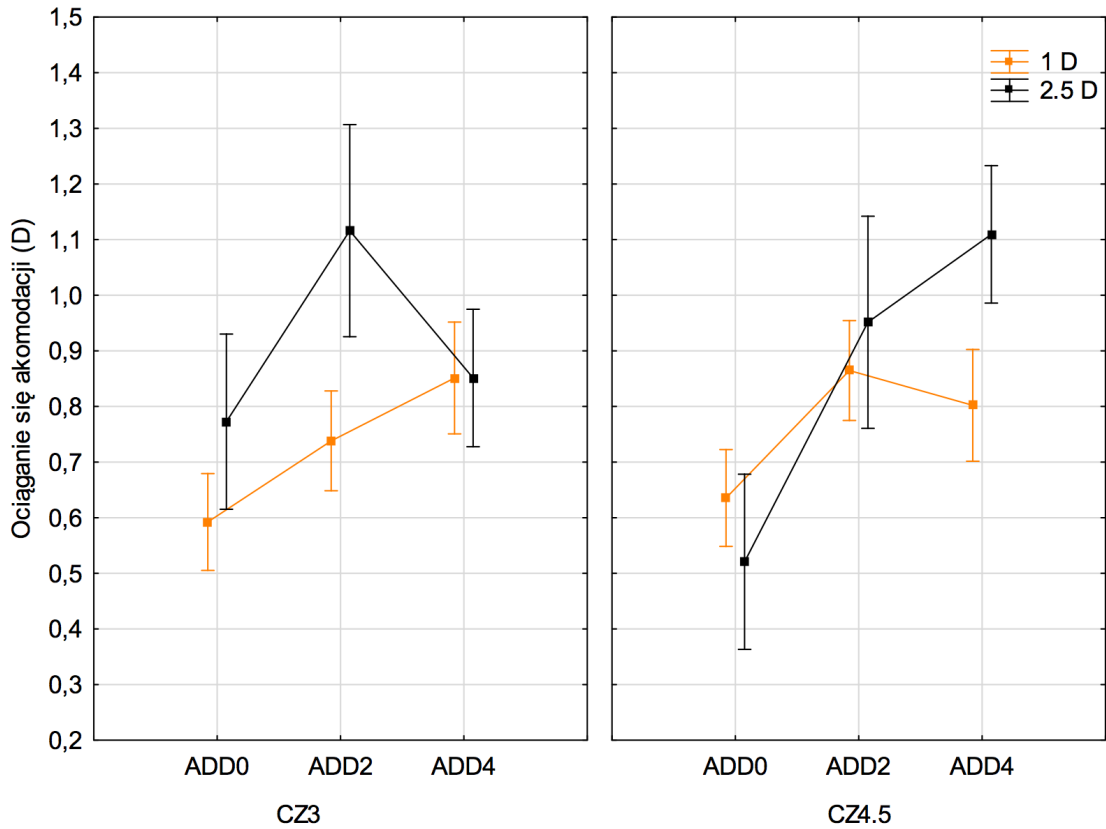
Wykres nr 4. Sprawność akomodacji dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach CZ3 i CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy średniej. Źródło [92].

Odpowiedź akomodacji

Na podstawie pomiaru odpowiedzi akomodacji obliczono ociąganie się akomodacji oraz nachylenie krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji. Wyniki przedstawiono na wykresach odpowiednio nr 5 oraz nr 6.

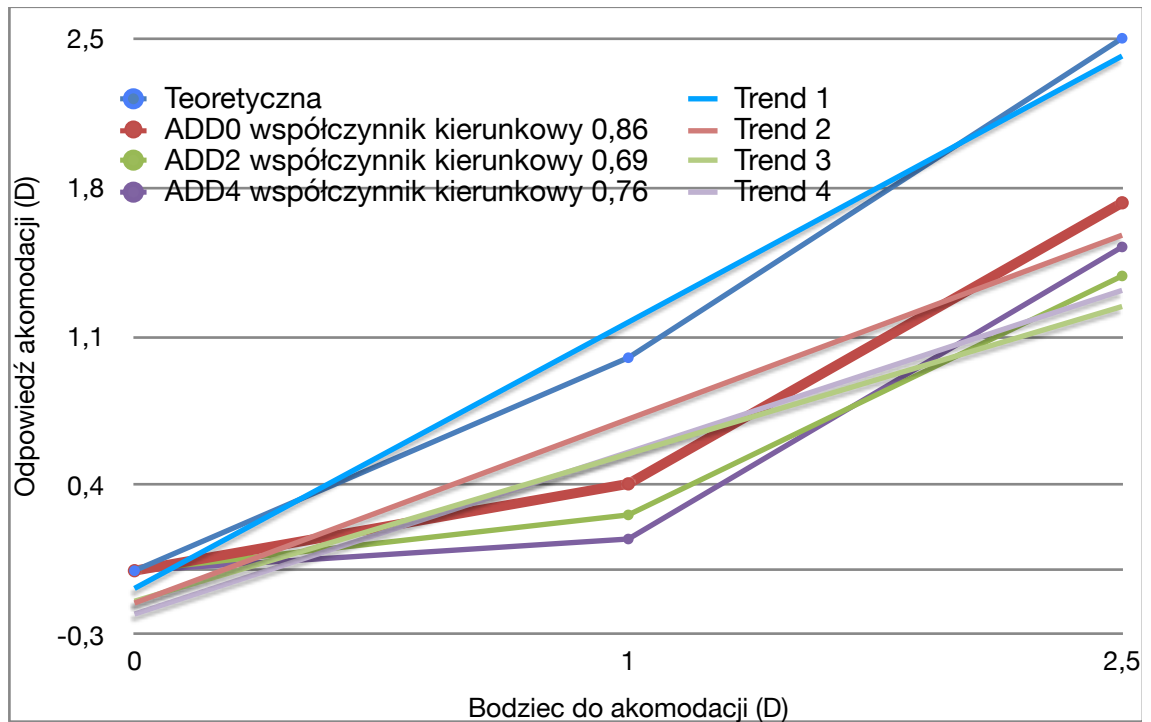
Średnie ociąganie się akomodacji było porównywalne dla obu rozmiarów strefy centralnej ($p = 0,957$). Wartości ociągania się akomodacji zwiększały się wraz ze wzrostem wartości ADD ($p = 0,003$). Analiza post-hoc wykazała istotną różnicę pomiędzy ADD0 i ADD2 ($p = 0,007$) oraz pomiędzy ADD0 i ADD4 ($p = 0,010$). Nie zaobserwowano natomiast istotnej różnicy pomiędzy ADD2 i ADD4 ($p = 0,987$). Stwierdzono również istotną interakcję pomiędzy CZ, ADD, a bodźcem dla akomodacji ($p = 0,014$). Zwiększone ociąganie się akomodacji wraz ze zwiększeniem ADD obserwowano przy obu rozmiarach strefy centralnej, jednak efekt ten był istotny statystycznie tylko przy CZ4.5 dla bodźca do akomodacji 2,5 D pomiędzy ADD0

a ADD2 ($p = 0,019$) oraz między ADD0 a ADD ($p = 0,004$). Nie stwierdzono takiej zależności pomiędzy ADD w grupie CZ3 ($p > 0,050$).



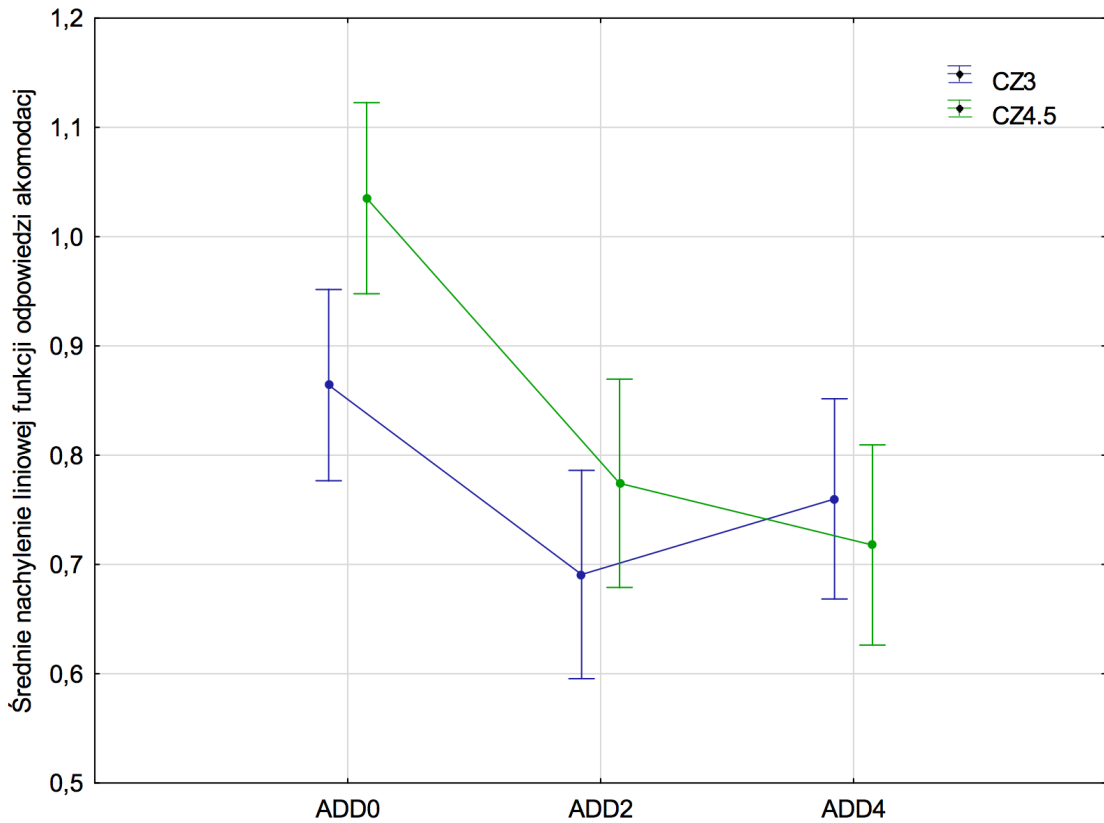
Wykres 5. Ociążenie się akomodacji dla soczewek z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach o średnicy strefy centralnej CZ3 i CZ4.5, dla bodźca do akomodacji 1D oraz 2.5 D. Wąsy oznaczają błąd standardowy średniej. Źródło [92].

Wykres nachylenia funkcji liniowej odpowiedzi akomodacji dla ADD0, ADD2, ADD4 oraz teoretycznej odpowiedzi akomodacji (wykres nr 6).



Wykres nr 6. Nachylenie funkcji liniowej odpowiedzi akomodacji dla krzywej teoretycznej, ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5.

Średnie nachylenie funkcji liniowej odpowiedzi akomodacyjnej było porównywalne dla obu grup CZ ($p = 0,500$). Parametr ten był jednak zależny od zastosowanej ADD. Nachylenie funkcji było mniejsze dla ADD2 i ADD4 (wykres nr 7), niż dla ADD0, co pokazuje istotny statystycznie efekt główny *ADD* ($p = 0,005$) oraz test post-hoc (ADD0 vs ADD2: $p = 0,01$ i ADD0 vs ADD4: $p = 0,014$). Zależność taka występowała przy obu wielkościach stref centralach (nieistotna statystycznie interakcja *ADD x CZ*: $p = 0,336$).



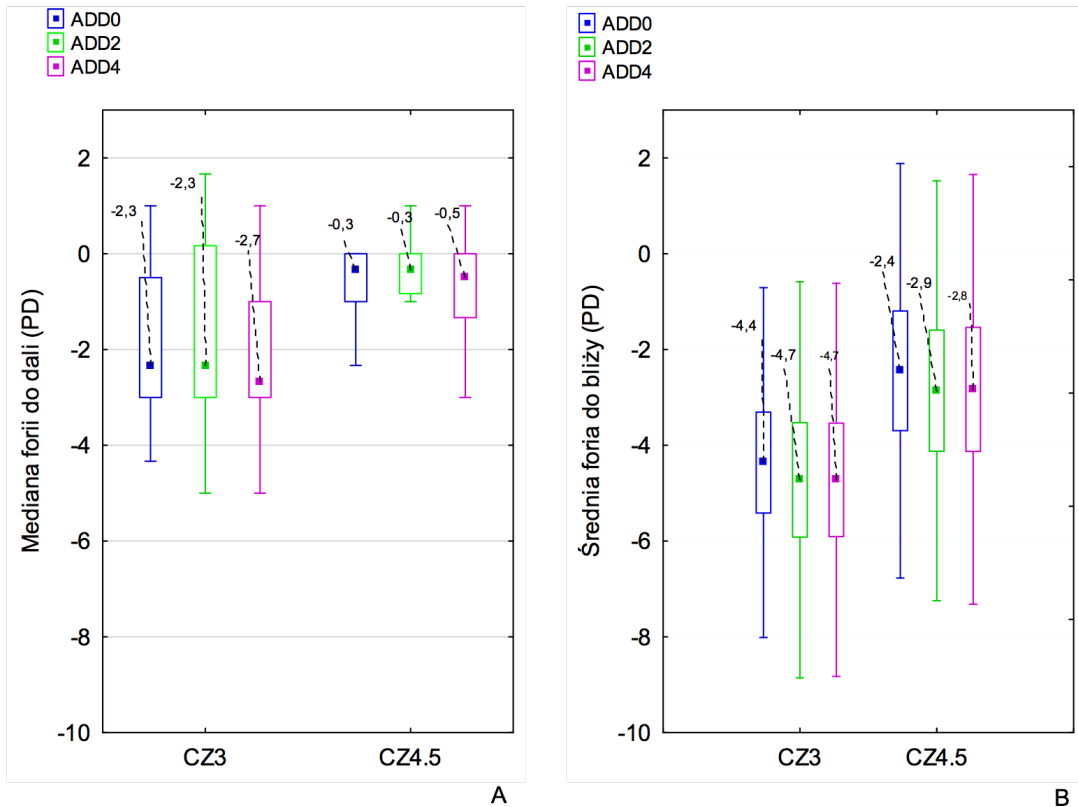
Wykres nr 7. Nachylenie liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji w ADD0, ADD2 i ADD4 dla grupy CZ3 i CZ4.5. Wąsy oznaczają błąd standardowy średniej. Źródło [92].

4.2. Wyniki parametrów widzenia obuocznego

Heteroforia

Mediana forii do dali (wykres nr 8 A) była prawie jednakowa dla wszystkich *ADD* w grupie CZ3 ($p = 0,446$). Nie stwierdzono również istotnej różnicy dla mediany przy pomiarze forii do dali w grupie CZ4.5 dla wszystkich *ADD* ($p = 0,317$). Ponadto, nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy dla mediany forii do dali pomiędzy grupami CZ3 a CZ4.5 dla ADD0 ($p = 0,102$) oraz pomiędzy grupami CZ3 a CZ4.5 dla ADD2 ($p = 0,206$). Natomiast dla ADD4 różnica między grupami CZ3 oraz CZ4.5 była istotna statystycznie ($p = 0,035$).

Wyniki dla średniej forii do bliży (wykres nr 8 B) również wykazały nieistotną statystycznie różnicę pomiędzy różnymi *ADD* ($p = 0,320$). Ponadto, foria do bliży była niezależna od wielkości strefy centralnej, na co wskazuje nieistotny efekt główny *CZ* ($p=0,272$) oraz nieistotna interakcja pomiędzy *ADD* a *CZ* ($p=0,995$).



Wykres nr 8. A Foria do dali w dwóch grupach (CZ3 i CZ4.5) dla ADD0, ADD2 i ADD4. prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. B- Foria do bliży w grupach (CZ3 i CZ4.5) dla ADD0, ADD2 i ADD4. Prostokąty reprezentują błąd standardowy, a wąsy odchylenie standardowe.

Zakresy wergencji fuzyjnej

Średnie wartości odpowiedzi (zamazania, zerwania i odtworzenia) w pomiarze zakresów wergencji fuzyjnej mierzonych do dali i bliży we wszystkich grupach ADD i CZ przedstawiono w tabeli nr 4 oraz tabeli nr 5.

Tabela nr 4. Średnie wartości zamazania, zerwania i odtworzenia dla zakresów konwergencji fuzyjnej mierzonych do dali (odległości 5 m) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4,5. BN- kierunek bazy prymat w kierunku nosa, BS-kierunek bazy prymatu w kierunku skroni, **(BS)**- błąd standardowy, PD- dioptrie pryzmatyczne

Grupa	ADD	Zamazanie BN (BS) PD	Zerwanie BN (BS) PD	Odtworzenie BN (BS) PD	Zamazanie BS (BS) PD	Zerwanie BS (BS) PD	Odtworzenie BS (BS) PD
CZ3	ADD0	-11,58 (1,02)	-12,75 (1,43)	-5,83 (0,57)	18,79 (2,49)	24,63 (2,61)	16,00 (3,14)
CZ3	ADD2	-8,16 (0,81)	-10,67 (1,15)	-5,71 (0,71)	15,58 (2,44)	26,92 (3,09)	20,83 (3,89)
CZ3	ADD4	-10,12 (0,90)	-11,54 (1,04)	-6,00 (0,80)	15,58 (1,84)	21,75 (1,99)	11,46 (1,93)
CZ4.5	ADD0	-10,79 (1,15)	-11,33 (1,04)	-5,75 (0,86)	19,79 (2,38)	24,79 (2,90)	14,33 (3,13)
CZ4.5	ADD2	-11,33 (0,95)	-11,92 (0,79)	-6,50 (0,76)	19,92 (2,31)	25,33 (3,11)	14,21 (3,02)
CZ4.5	ADD4	-10,50 (0,98)	-11,00 (0,90)	-6,29 (0,68)	16,50 (2,05)	19,42 (2,14)	13,46 (3,53)

Tabela nr 5. Średnie wartości zamazania, zerwania i odtworzenia dla zakresów konwergencji fuzyjnej mierzonych do bliży (0.4 m) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4,5. BN- kierunek bazy prymatu w kierunku nosa, BS-kierunek bazy prymatu w kierunku skroni, **(BS)**- błąd standardowy, PD- dioptrie pryzmatyczne

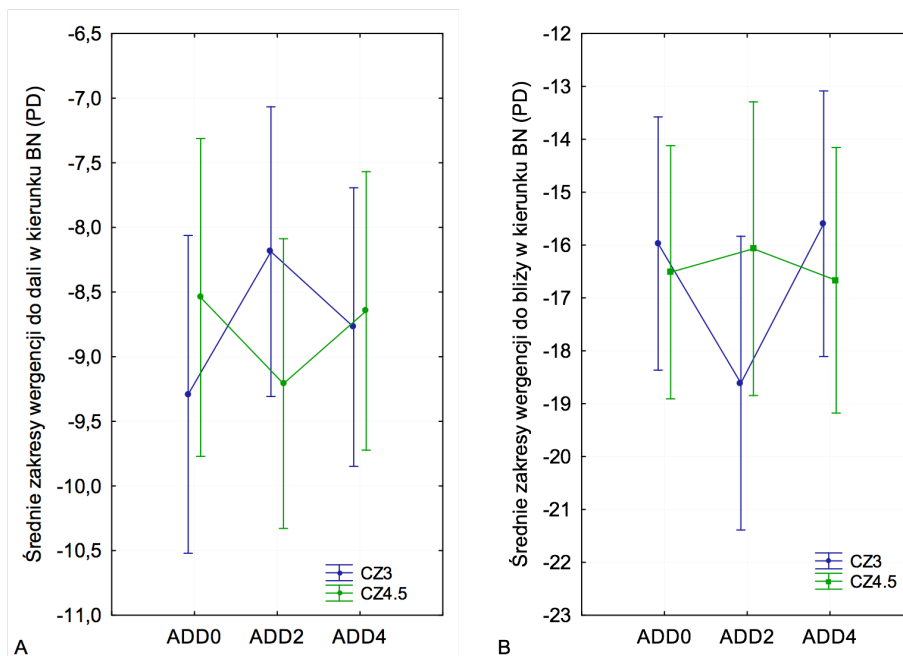
Grupa	ADD	Zamazanie BN (BS) PD	Zerwanie BN (BS) PD	Odtworzenie BN (BS) PD	Zamazanie BS (BS) PD	Zerwanie BS (BS) PD	Odtworzenie BS (BS) PD
CZ3	ADD0	-16,50 (1,42)	-19,58 (1,51)	-11,83 (1,03)	26,33 (2,19)	30,04 (1,99)	18,79 (3,44)
CZ3	ADD2	-19,00 (1,77)	-21,58 (1,59)	-15,25 (1,73)	22,50 (3,18)	27,83 (2,12)	16,12 (3,05)
CZ3	ADD4	-16,46 (1,18)	-19,37 (1,51)	-10,96 (1,16)	22,17 (2,60)	26,25 (3,39)	16,17 (3,67)
CZ4.5	ADD0	-17,33 (1,95)	-20,83 (1,74)	-11,38 (1,62)	29,58 (2,89)	30,67 (3,11)	21,92 (3,53)
CZ4.5	ADD2	-16,75 (2,11)	-19,79 (1,73)	-11,67 (1,61)	26,92 (3,07)	29,50 (3,25)	21,71 (3,79)
CZ4.5	ADD4	-18,00 (2,07)	-19,67 (1,64)	-12,33 (1,81)	26,25 (2,63)	29,08 (2,86)	19,50 (3,96)

Jak pokazano na wykresie nr 9 i nr 10 średnie wartości zakresów wergencji do dali były prawie równe dla wszystkich ADD ($p = 0,784$). Ponadto na wartości te nie miała wpływu średnica strefy centralnej soczewki, na co wskazuje nieistotna interakcja $CZ \times ADD$ ($p = 0,161$). Jednakże, średnie zakresy wergencji w kierunku BS do dali były zależne od ADD ($p = 0,004$). Dla ADD0 i ADD2 nie różniły się istotnie od siebie ($p = 0,793$), jednak uległy redukcji przy ADD4 (ADD0 vs ADD4, $p = 0,014$ i ADD2 vs. ADD4, $p = 0,002$). Istotna interakcja $ADD \times CZ \times odpowiedź$ ($p = 0,006$) wykazała, że przy CZ3, ADD4 spowodowała zmniejszenie wartości odtworzenia fuzyji

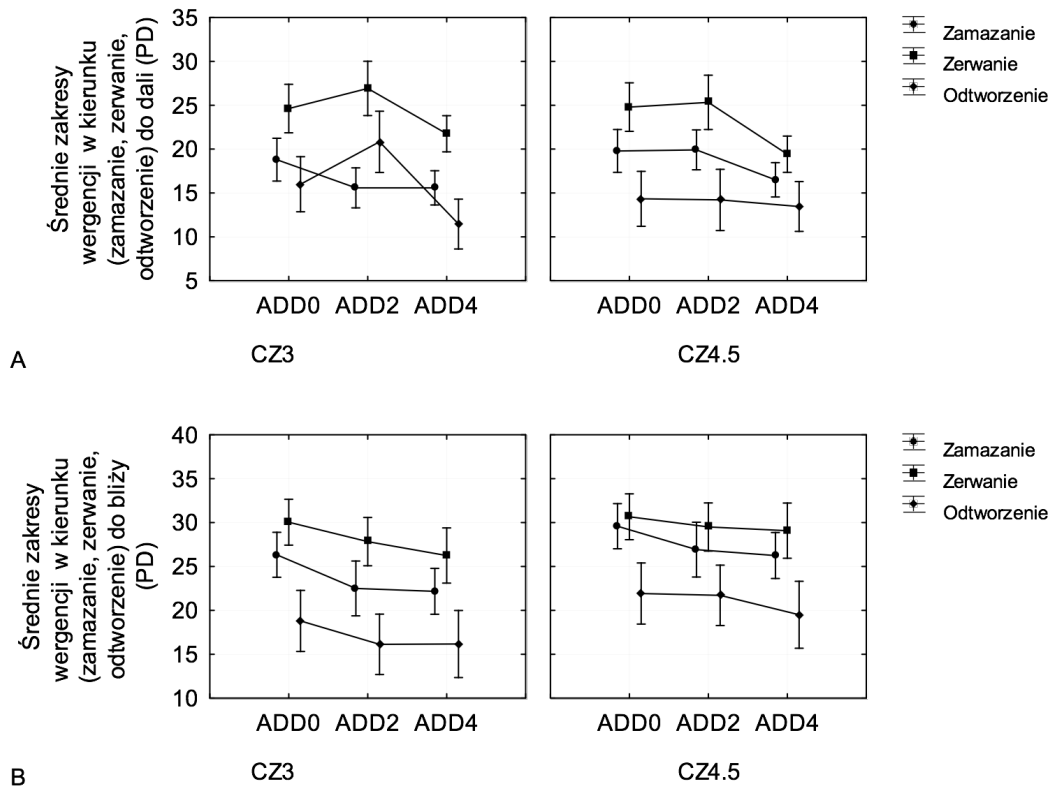
w porównaniu do ADD2 ($p < 0,001$), a w grupie CZ4.5 wartość zamazania zmniejszyła się istotnie przy ADD4 w porównaniu do ADD2 ($p = 0,026$).

Średnie zakresy wergencji do bliży w kierunku BN były zależne od *ADD* i *CZ* ($p = 0,014$). Na wykresie 9, pokazano, że w grupie CZ3 z ADD2 zakresy wergencji do bliży miały najbardziej ujemne wartości w porównaniu z ADD0 ($p = 0,050$), jak również w porównaniu z ADD4 ($p = 0,019$). Przesunięcie zakresów wergencji w kierunku BN zauważono dla wartości zamazania, zerwania i odtworzenia fuzji, co udowadnia nieistotna interakcja *ADD* x *CZ* x *odpowieź* ($p = 0,481$). Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy w grupie CZ3 między ADD0 i ADD4 ($p = 0,998$) a w grupie CZ4.5 pomiędzy wszystkimi ADD ($p > 0,999$).

Średnie wartości zakresów wergencji do bliży w kierunku BS malały wraz z *ADD* ($p = 0,022$). Test post-hoc wykazał istotną różnicę tylko pomiędzy ADD i ADD4 ($p = 0,020$). Efekt ten wystąpił dla wszystkich *odpowiezi* (zamazania, zerwania i odtworzenia) i dla obu *CZ*, co pokazały nieistotne interakcje *ADD* x *CZ* ($p = 0,760$) oraz *ADD* x *CZ* x *odpowieź* ($p = 0,869$).



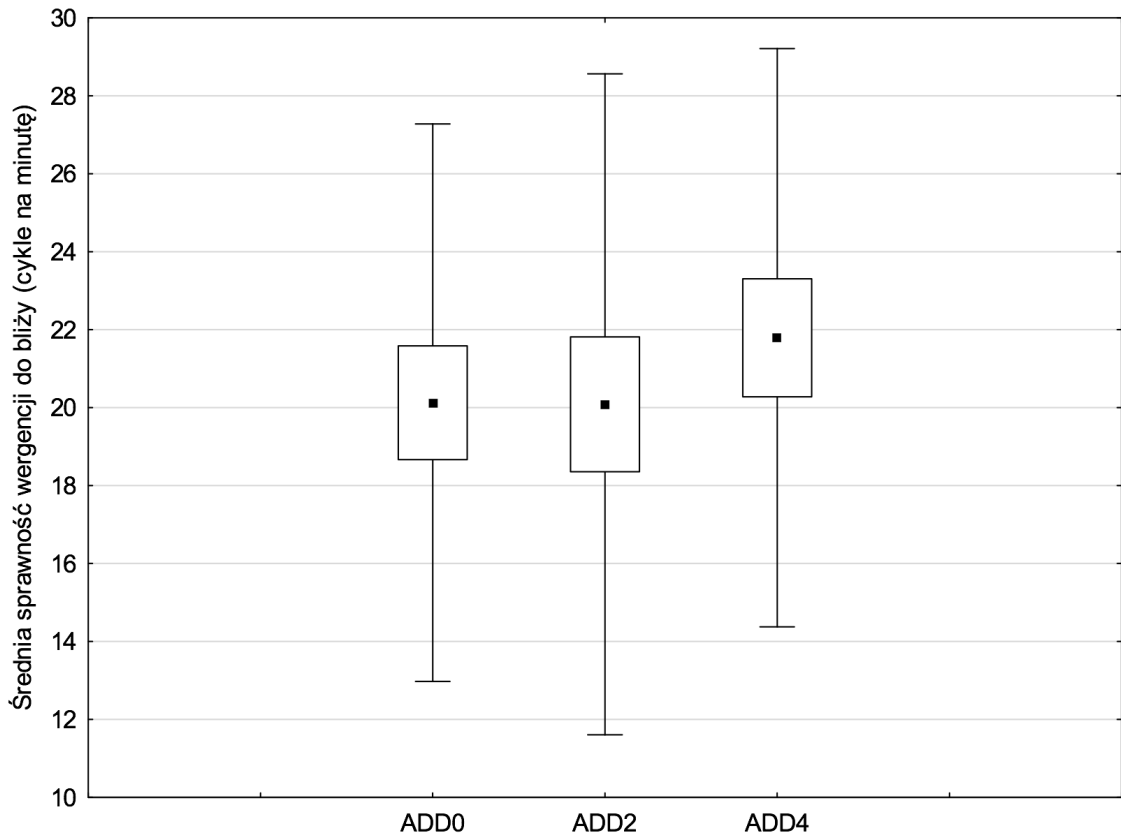
Wykres nr 9. A. Zakresy wergencji fuzyjnej do dali w kierunku BN dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. B - Zakresy wergencji fuzyjnej do bliży w kierunku BN (PD) dla ADD0, ADD2, ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy.



Wykres nr 10. A. Zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) do dali w kierunku BS dla ADD0, ADD2, i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. B - Zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) do bliży w kierunku BS (PD) dla ADD0, ADD2, i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy.

Sprawność wergencji

Wykres nr 11 przedstawia wartości średnie sprawności wergencji do bliży. Nie odnotowano istotnych różnic w tym parametrze między różnymi ADD ($p = 0,197$). Interakcja pomiędzy ADD a CZ również nie była istotna statystycznie ($p = 0,980$).



Wykres nr 11. Sprawność wergencji do bliży dla ADD0, ADD2 i ADD4 w dwóch grupach (CZ3 oraz CZ4.5). Prostokąty reprezentują błąd standardowy, a wąsy odchylenie standardowe.

Niedokładność fiksacji w bliży

Wyniki pomiarów niedokładności fiksacji zostały umieszczone w tabeli nr 6. W grupie CZ3 niedokładność fiksacji była większa przy ADD4 niż przy ADD0 czy ADD2, lecz różnica ta nie była istotna statystycznie ($p = 0,203$). Również przy CZ4.5 wartości tego parametru były porównywalne ($p = 0,678$).

Tabela nr 6. Wyniki pomiaru niedokładności fiksacji w blizy w minutach kątowych, mediana oraz minimum i maksimum dla ADD0, ADD2 i ADD4 w CZ3 i CZ4.5

CZ	ADD	Niedokładność fiksacji (minuty kątowe)		
		Mediana	Minimum	Maksimum
CZ3	ADD0	-1	-17	4
	ADD2	-1	-17	4
	ADD4	-4	-17	1
CZ4.5	ADD0	-1	-17	0
	ADD2	-2	-13	3
	ADD4	-1	-14	1

Test równowagi stereoskopowej do dali

Tabela nr 7 przedstawia wyniki testu równowagi stereoskopowej (MKH-Hasse) dla trzech zastosowanych ADD. Nieco mniej niż połowa badanych (5 osób) z grupy CZ3 wykazało brak równowagi stereoskopowej przy ADD0, a liczba ta wzrosła tylko o jednego uczestnika przy ADD2 i ADD4. W grupie CZ3 nie zanotowano różnic w równowadze stereoskopowej w trzech zastosowanych dodatkach ($p = 0,629$).

Nieco mniej uczestników udzieliło odpowiedzi wskazującej na brak równowagi stereoskopowej w grupie CZ4.5 w porównaniu z CZ3. Nie odnotowano tu wpływu ADD na równowagę stereoskopową ($p = 0,779$).

Dodatkowo nie stwierdzono różnicy statystycznej pomiędzy grupami CZ3 i CZ4.5 przy ADD0 ($p = 0,673$), ADD2 ($p = 0,206$), czy ADD4 ($p = 0,682$).

Tabela nr 7. Liczba i procent osób badanych wykazujących brak równowagi stereoskopowej w teście równowagi MKH-Haase do dali

	Równowaga stereoskopowa Liczba (%) badanych	Brak równowagi stereoskopowej Liczba (%) badanych
CZ3-ADD0	7 (58%)	5 (42%)
CZ3-ADD2	6 (50%)	6 (50%)
CZ3-ADD4	6 (50%)	6 (50%)
CZ4.5-ADD0	8 (67%)	4 (33%)
CZ4.5-ADD2	9 (75%)	3 (25%)
CZ4.5-ADD4	7 (58%)	5 (42%)

Stereopsja do bliży

Wartości stereopsji przy różnych soczewkach przedstawiono w tabeli nr 8. W grupie CZ3 stereopsja była na podobnym poziomie przy wszystkich badanych ADD ($p = 0,097$). W grupie CZ4.5 nie stwierdzono również istotnej statystycznie różnicy w tym parametrze pomiędzy ADD ($p = 0,254$).

Nie odnotowano istotnej statystycznie różnicy w stereopsji pomiędzy CZ3 a CZ4.5 dla wszystkich zastosowanych wielkości ADD ($p > 0,05$).

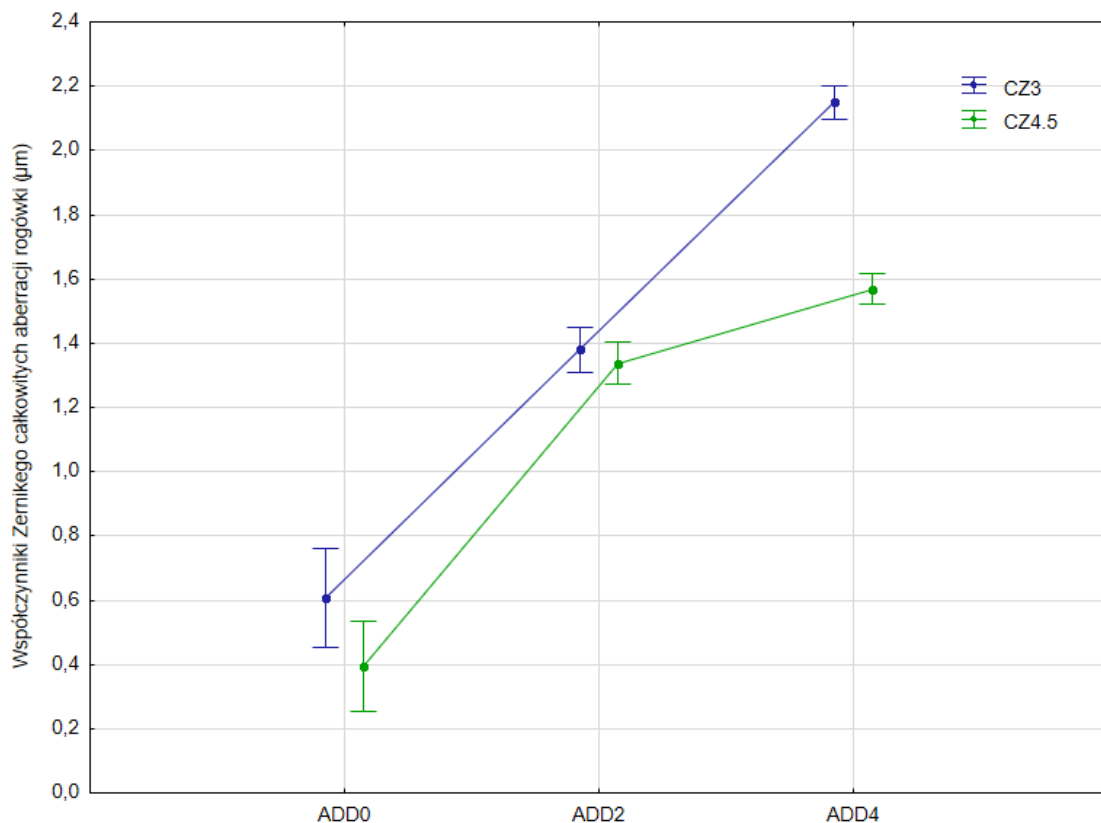
Tabela nr 8. Wyniki pomiaru stereopsji w bliży w sekundach kątowych, mediana, minimum i maksimum dla ADD0, ADD2 i ADD4 w CZ3 i CZ4.5

CZ	ADD	Stereopsja do bliży (sekundy kątowe)		
		Mediana	Minimum	Maksimum
CZ3	ADD0	25	20	63
	ADD2	38	20	300
	ADD4	25	20	400
CZ4.5	ADD0	23	20	133
	ADD2	28	20	107
	ADD4	20	20	63

4.3. Wyniki pomiarów topograficznych

Aberracje rogówki wyższego i niższego rzędu

Na wykresie nr 12. przedstawiono wyniki współczynników Zernikego (μm) dla pomiarów całkowitych aberracji rogówki. Aberracje całkowite rosną zarówno wraz ze wzrostem ADD ($p < 0.001$) oraz ze zmniejszeniem strefy centralnej CZ ($p = 0.029$).

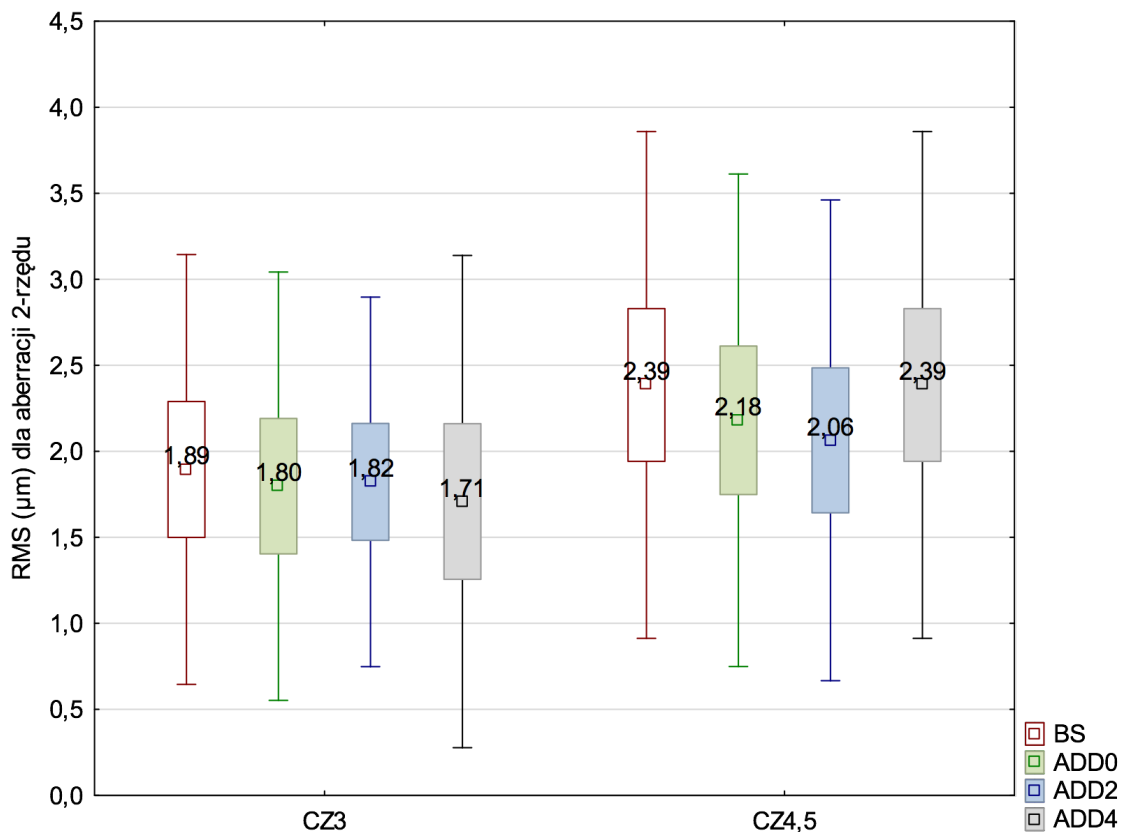


Wykres nr 12. Współczynniki Zernikego całkowitych aberracji rogówki dla ADD0, ADD2 oraz ADD4, w grupie CZ3 i CZ4.5. Wąsy określają błąd standardowy średniej.

Analiza post-hoc wykazała, że istotne statystycznie różnice współczynników Zernikego całkowitej aberracji w grupie CZ3 pojawiły się pomiędzy ADD0 i ADD2 ($p < 0.05$), pomiędzy ADD0 i ADD4 ($p < 0.05$) oraz pomiędzy ADD2 i ADD4 ($p < 0.05$). W grupie CZ4.5 współczynniki te różniły się jedynie pomiędzy ADD0 i ADD 2 ($p < 0.05$) oraz ADD0 i ADD 4 ($p < 0.05$). Natomiast różnica pomiędzy ADD2 i ADD4 w grupie CZ4.5 nie była istotna statystycznie ($p = 0.482$).

Dalszą analizę aberracji dokonano już na poszczególnych składowych współczynników Zernikego od 2. do 5. rzędu, przeliczonych na wartości RMS.

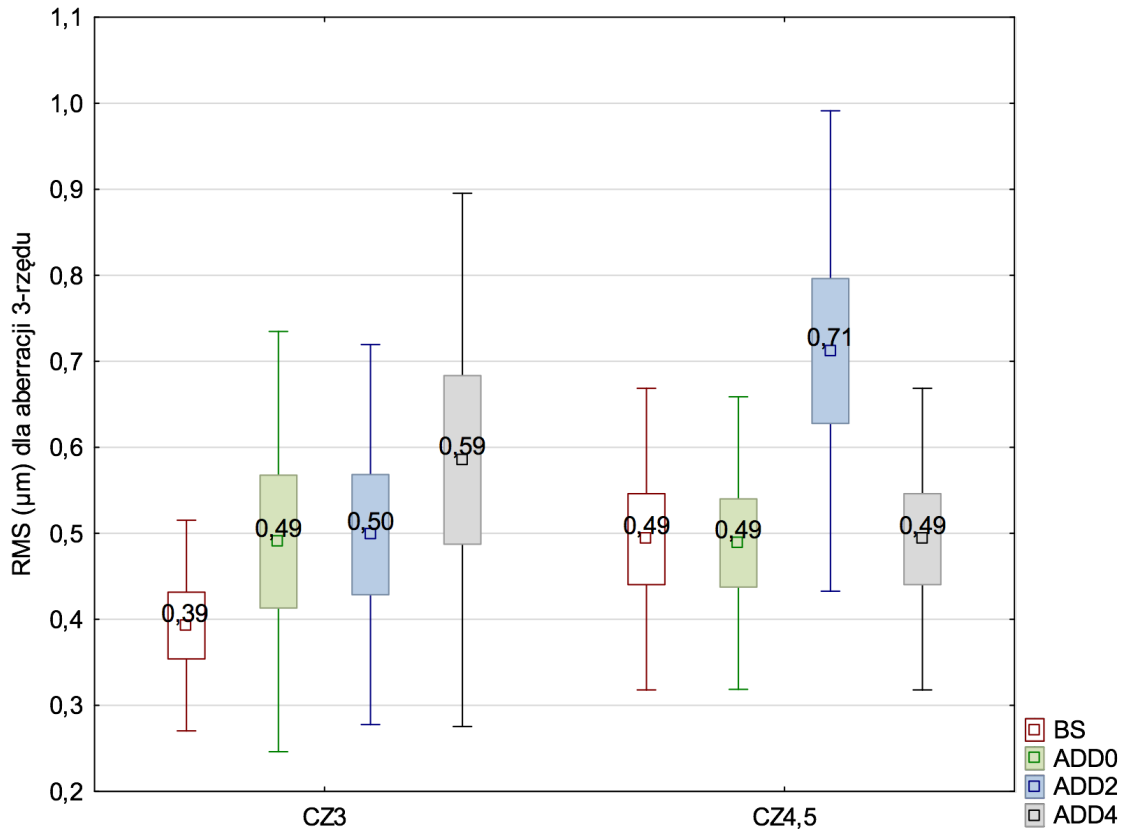
Na wykresie nr 13 umieszczono wyniki RMS aberracji 2. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) oraz w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Zastosowanie soczewki kontaktowej zredukowało w pewnym stopniu aberrację 2. rzędu (astygmatyzm), co pokazał istotny statystycznie efekt główny ADD ($p = 0.041$). Natomiast istotna statystycznie interakcja CZ x ADD ($p=0.023$) oraz testy post-hoc pokazały, że jedynie soczewki kontaktowe z ADD2 w grupie CZ4.5 istotnie zmniejszyły aberrację 2. rzędu w stosunku do BS ($p = 0.032$) oraz w stosunku do ADD4 ($p = 0.032$).



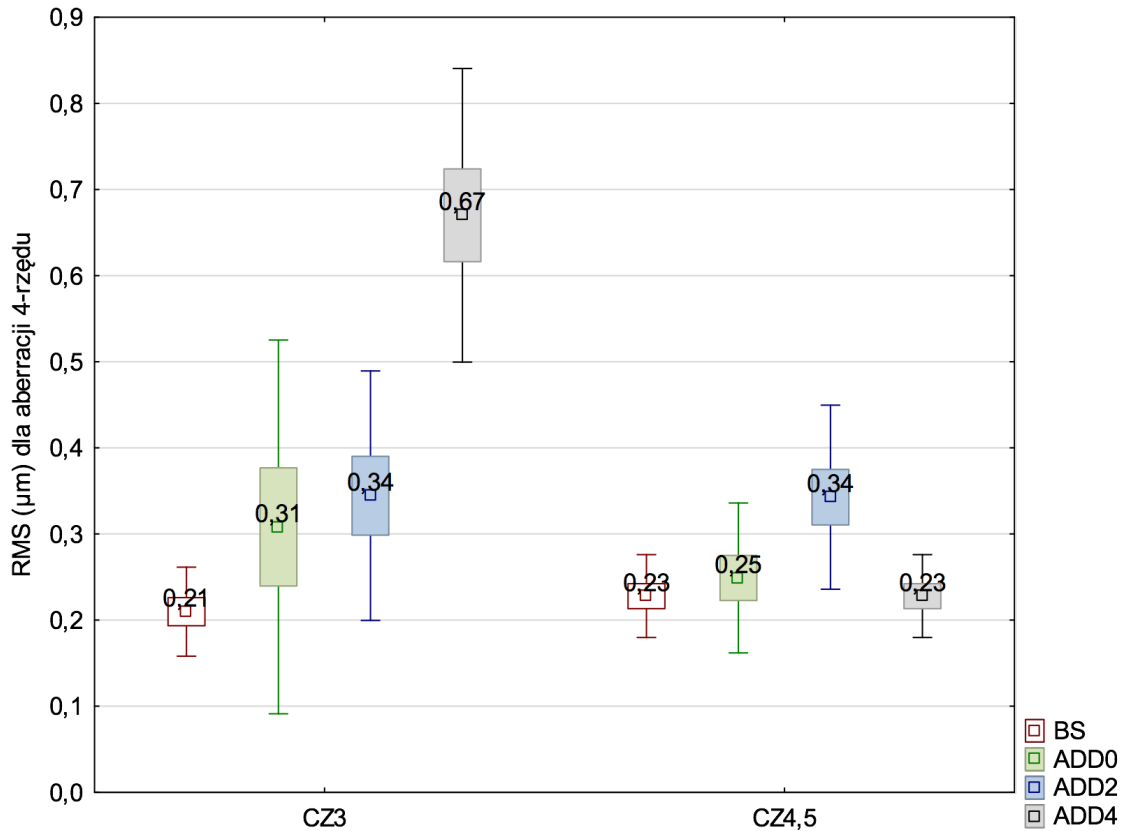
Wykres nr 13. RMS aberracji 2. rzędu (astygmatyzm) zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) oraz w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy a wąsy odchylenie standardowe średniej.

Na wykresie nr 14 przedstawione są wyniki aberracji 3. rzędu (koma i trefoil). Wszystkie założone w eksperymencie soczewki kontaktowe zwiększały ten typ

aberracji (efekt główny *ADD*: $p = 0.044$). Zanotowano także zwiększone aberracje 3. rzędu dla *ADD2*, jednak testy post-hoc wykazały, że istotne statystycznie różnice były jedynie pomiędzy *BS* a *ADD2* ($p = 0.026$). Nieistotne statystycznie interakcje pomiędzy *CZ* x *ADD* ($p = 0.062$) pokazują, że efekt ten występował przy obu rozmiarach strefy centralnej (*CZ3* i *CZ4.5*).

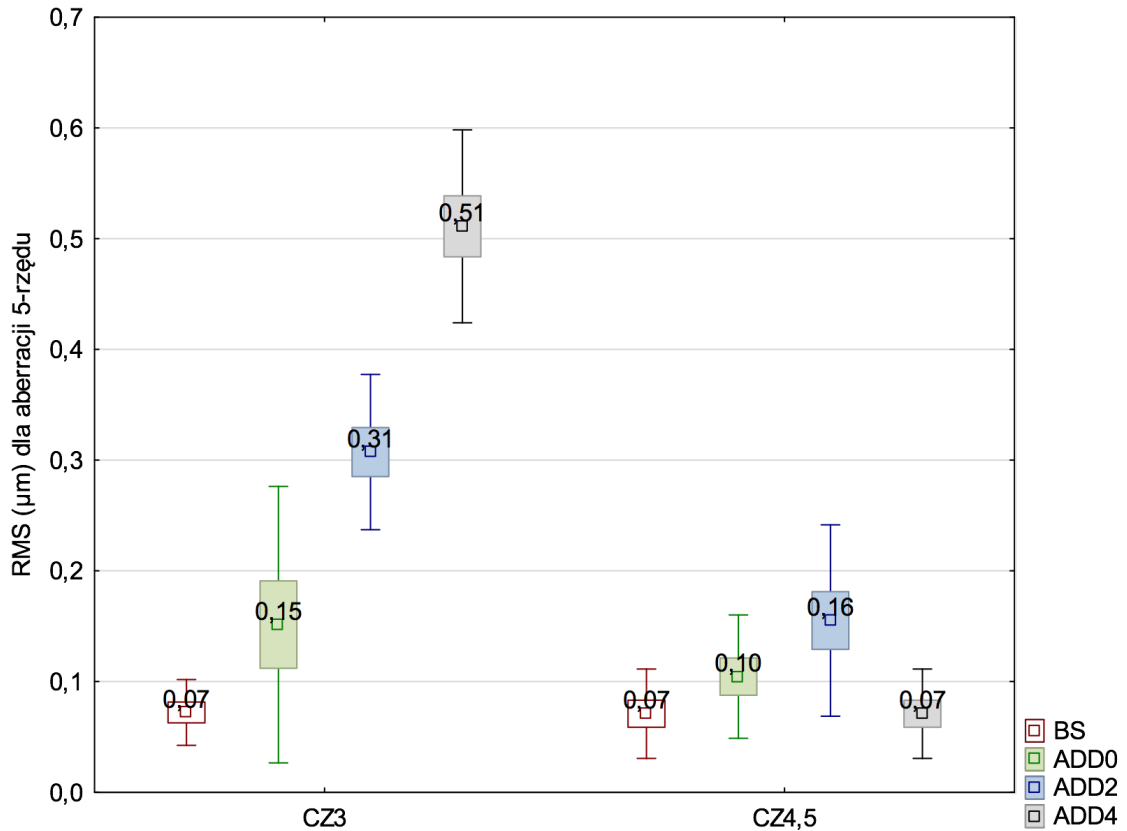


Wykres nr 14. RMS aberracji 3. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (*BS*) i w soczewkach kontaktowych z *ADD0*, *ADD2* i *ADD4* w grupie *CZ3* i *CZ4.5*. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej.



Wykres nr 15. RMS aberracji 4. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) i w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej.

Na wykresie nr 15. pokazano wzrost aberracji 4. rzędu (aberracja sferyczna, astygmatyzm drugorzędowy, quadrafoil) dla ADD2 i ADD4. Jednakże istotna statystycznie różnica występowała dla ADD4 w grupie CZ3, co pokazała istotna interakcja $CZ \times AD$ ($p < 0.001$). Analiza post-hoc wykazała, że istotne zwiększenie aberracji 4. rzędu występowało w ADD4 przy CZ3 w porównaniu do wszystkich pozostałych soczewek kontaktowych ($p < 0.001$).



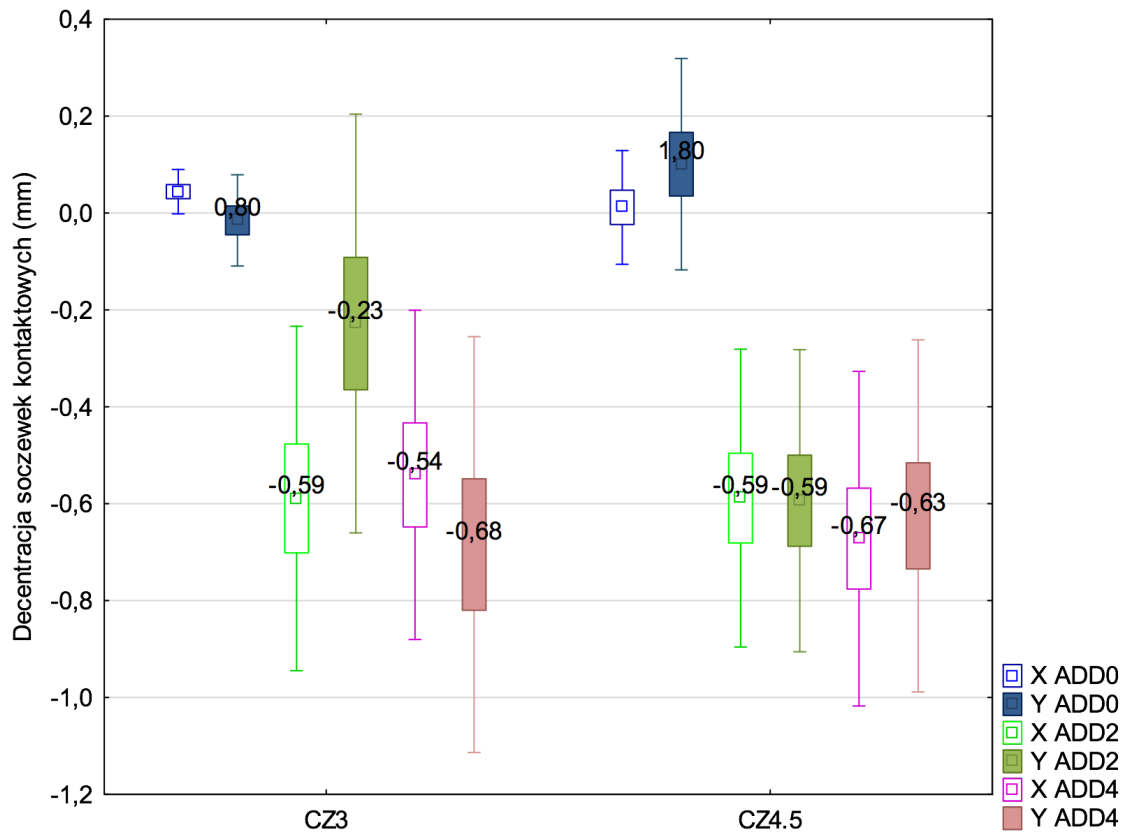
Wykres nr 16. RMS aberracji 5. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS), w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej.

Na wykresie nr 16 pokazany został wzrost aberracji 5. rzędu (koma drugorzędowa, trefoil drugorzędowy i pentafoil) w grupie CZ3 dla ADD2 i ADD4 w porównaniu do ADD0 oraz BS ($p < 0.001$). Dodatkowo ADD4 wywołała istotnie większe aberracje 5. rzędu w stosunku do ADD2 ($p < 0.001$). Natomiast w grupie CZ4.5 aberracje 5. rzędu nie zmieniły się w istotny sposób po założeniu soczewek z ADD2 lub ADD4 w porównaniu do ADD0 i BS ($p > 0.07$).

Analiza decentracji soczewek kontaktowych

Na wykresie nr 17 pokazano wyniki decentracji soczewek kontaktowych na podstawie analizy różnicowych map tangencjalnych (różnica pomiędzy mapą BS a mapą z założoną soczewką z ADD0, ADD2 i ADD4). Wykazano, że dla ADD0 decentracja soczewek jest minimalna, natomiast wraz z dodaniem mocy w części peryferyjnej soczewki, ulegają one decentracji, co pokazuje istotny statystycznie efekt

główny ADD ($p < 0.001$). Soczewki z ADD2 oraz ADD4 decentrowały się w kierunku skroni (ujemny znak dla parametru decentracji X) oraz ku dołowi (ujemny znak dla parametru decentracji Y). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w decentracji soczewek pomiędzy CZ3 a CZ4.5 ($p = 0.932$).



Wykres nr 17. Decentracja soczewek kontaktowych (mm) z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5 w kierunku poziomym (X) oraz pionowym (Y). Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej.

W celu sprawdzenia czy aberracja 3-rzędowa (koma) przy ADD2 wynikała z decentracji soczewek przeprowadzono test korelacji Pearsona pomiędzy średnią decentracją soczewki (X,Y) a aberracją koma. Wyniki tej analizy wykazały brak korelacji pomiędzy badanymi parametrami zarówno dla CZ3 ($r = -0.06$, $p = 0.865$), jak i dla CZ4.5 ($r = 0.34$, $p = 0.309$).

Podobną analizę wykonano dla aberracji 2-rzędowych i tutaj również stwierdzono brak istotnych statystycznie korelacji między wartościami aberracji, a decentracją dla ADD2 przy CZ3 ($r = 0.23$, $p = 0.515$) oraz przy CZ4.5 ($r = -0.34$,

$p = 0.303$). Analiza korelacji pomiędzy aberracją 4. rzędu a decentracją przy ADD2 nie wykazała istotnych statystycznie efektów przy CZ3 ($r = -0.23$, $p = 0.515$) oraz przy CZ4.5 ($r = 0.30$, $p = 0.364$). Podobnie, analiza korelacji pomiędzy aberracją 4. rzędu a decentracją przy ADD4 nie wykazała istotnych statystycznie efektów przy CZ3 ($r = -0.40$, $p = 0.252$) oraz przy CZ4.5 ($r = 0.25$, $p = 0.465$). Wykresy korelacji zostały umieszczone w załączniku nr 3 niniejszego manuskryptu

5. WYNIKI EKSPERYMENTU 2

5.1. Wyniki podstawowych funkcji wzrokowych i widzenia obuocznego

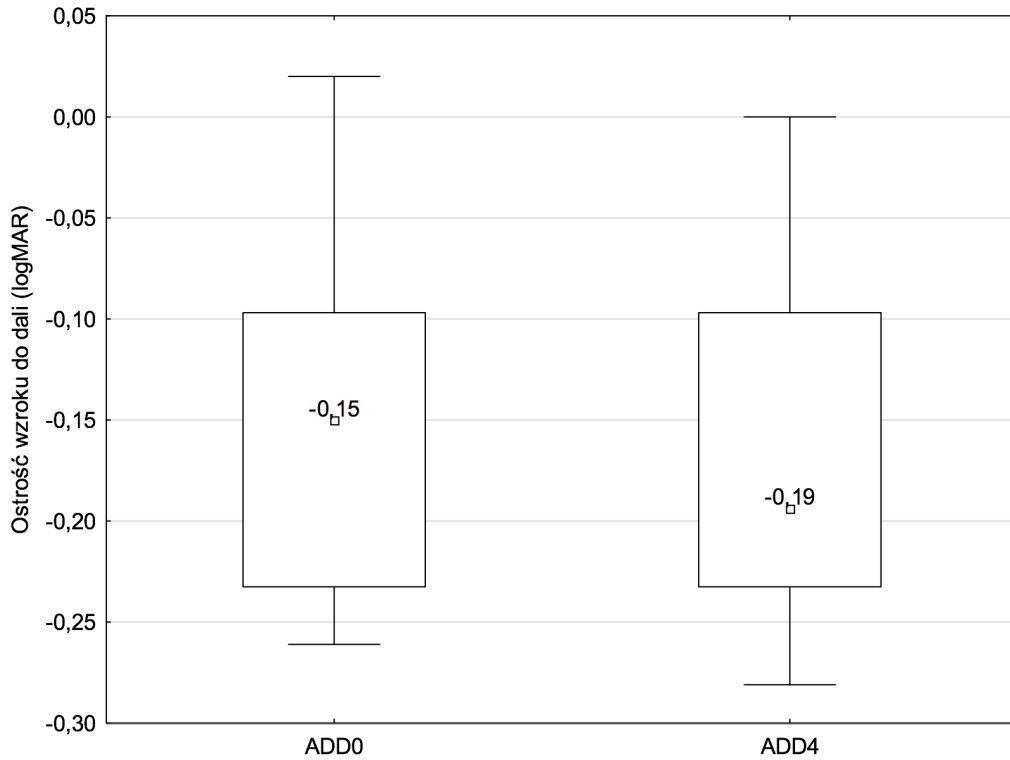
W eksperymencie nr 1 zaobserwowano pogorszenie niektórych parametrów widzenia jednoocznego i obuocznego po okresie 1 godziny stosowania MFSCl, dlatego też zaplanowano eksperyment nr 2, w którym postanowiono sprawdzić czy możliwa jest adaptacja do zmian wywołanych przez MFSClS z wysokimi ADD.

W eksperymencie nr 2, pomiary funkcji wzrokowych jak i jakości widzenia wykonano po 2 tygodniach użytkowania soczewek kontaktowych ADD4 (ze strefą centralną do dali CZ4.5) i porównano je do wyników osób używających przez 2 tygodnie soczewki jednoogniskowe (ADD0).

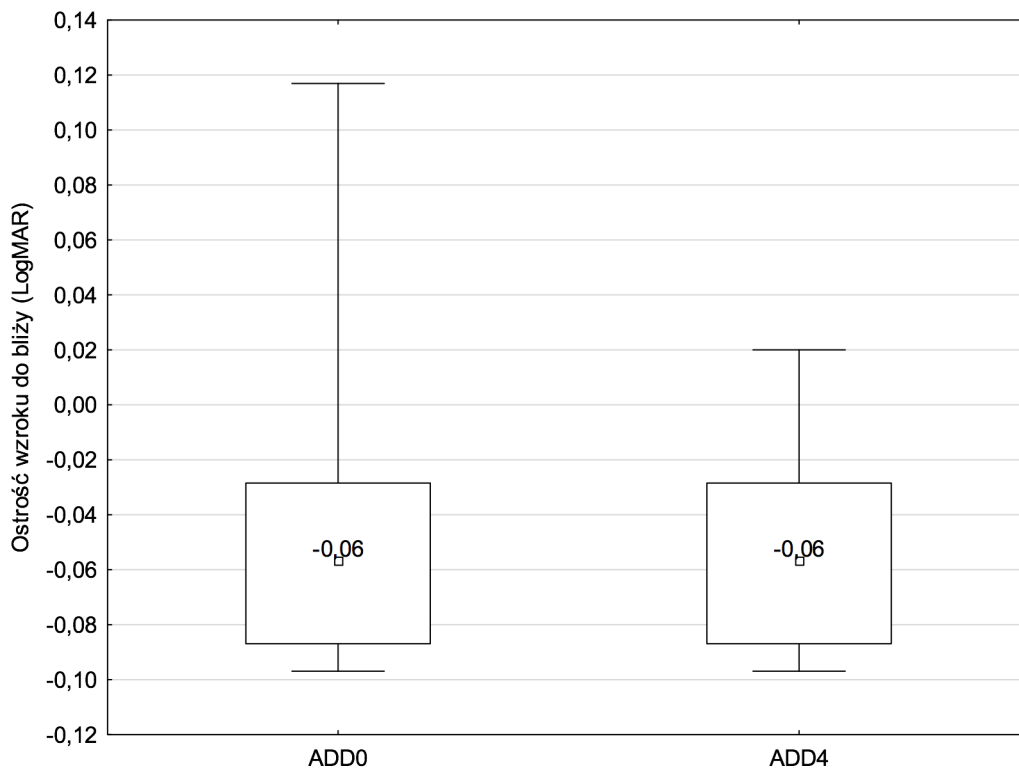
Ostrość wzroku do dali i do bliży

Wartości mediany dla ostrości wzroku do dali zostały przedstawione na wykresie nr 18. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy ADD0 i ADD4 dla ostrości wzroku do dali ($p = 0.681$).

Na wykresie nr 19. przedstawiono wyniki mediany ostrości wzroku do bliży. Parametr ten również nie różnił się istotnie statystycznie pomiędzy ADD0 i ADD4 ($p = 0.929$).



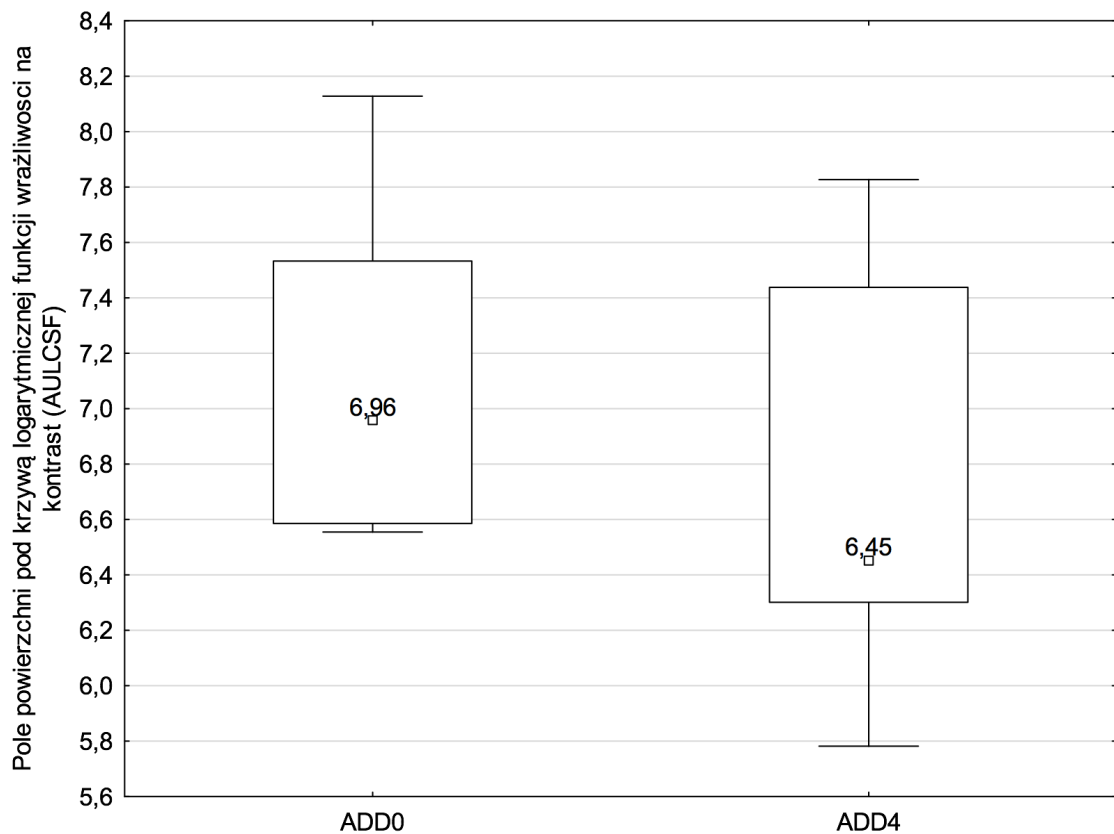
Wykres nr 18. Ostrości wzroku do dali LogMAR dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.



Wykres nr 19. Ostrości wzroku do bliży LogMAR dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.

Peryferyjna wrażliwość na kontrast

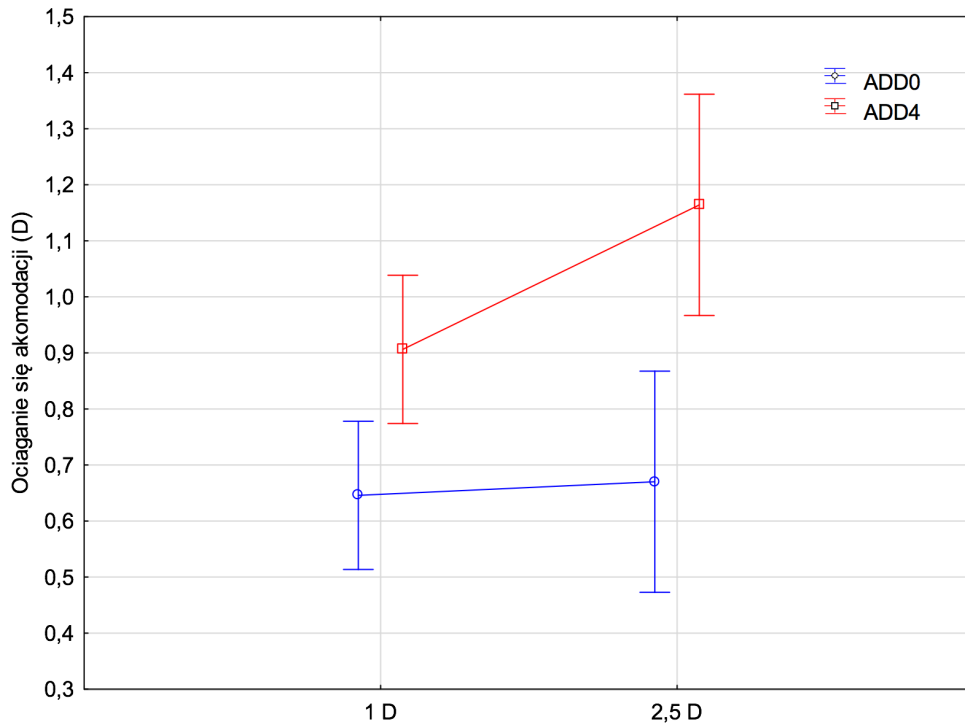
Na wykresie nr 20 przedstawiono wartości AULCSF. Nie odnotowano istotnych zmian w tym parametrze pomiędzy ADD0 i ADD4 ($p = 0.116$). Porównując wrażliwość na kontrast dla każdej z częstotliwości osobno, również nie zaobserwowano istotnie statystycznych różnic pomiędzy badanymi soczewkami dla żadnej z częstotliwości przestrzennych bodźca ($p > 0.662$).



Wykres nr 20. Pole powierzchni pod krzywą logarytmicznej funkcji wrażliwości na kontrast (AULCSF) dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 procentyl, wąsy minimum i maksimum.

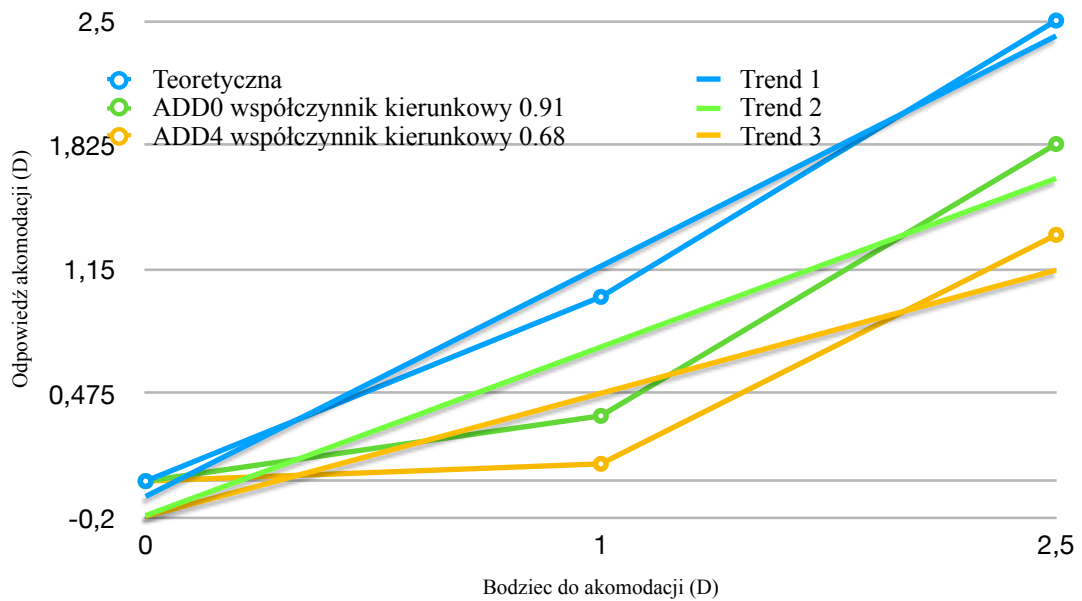
Odpowiedź akomodacji

Średnie ociążanie się akomodacji miało większą wartość przy ADD4 w stosunku do ADD0 (wykres nr 21), jednak różnica ta nie była istotna statystycznie ($p = 0.312$). Dodatkowa analiza post-hoc pokazała brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy ADD0 i ADD4 dla bodźca do akomodacji 1 D ($p = 0.694$) oraz dla bodźca do akomodacji 2.5 D ($p = 0.149$).

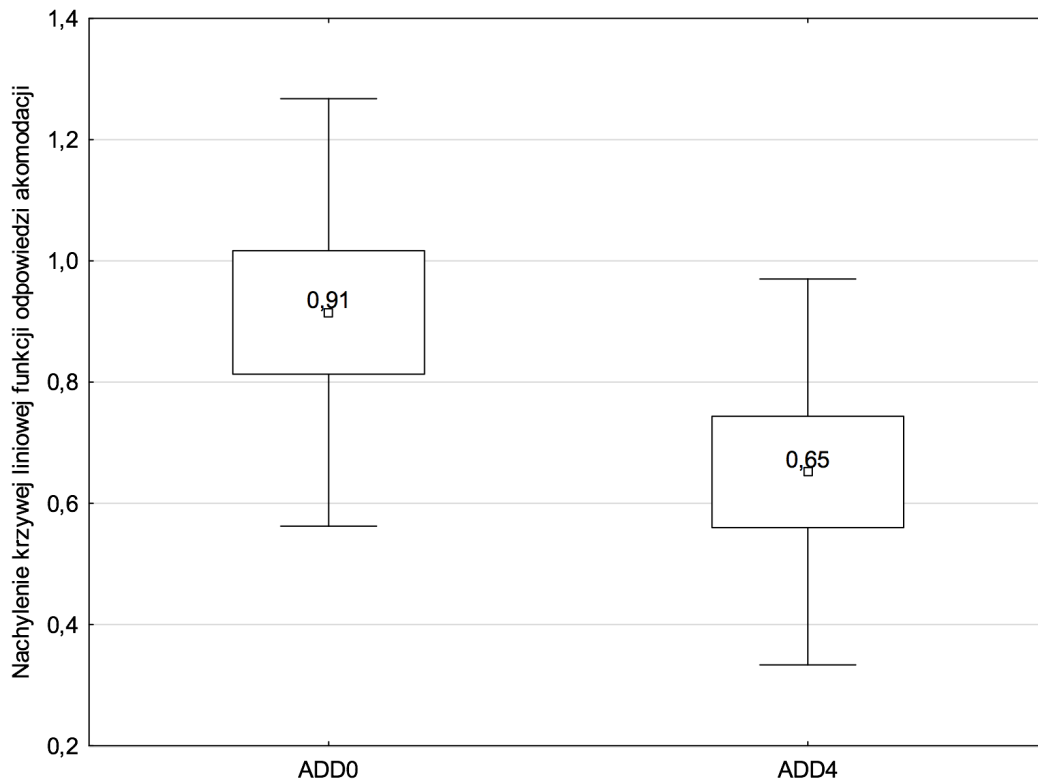


Wykres nr 21. Ociąganie się akomodacji dla ADD0 i ADD4, wąsy oznaczają błąd standardowy średniej.

Krzywa nachylenia odpowiedzi akomodacji dla soczewek z ADD0 i ADD4 oraz teoretyczna krzywa została pokazana na wykresie poniżej (wykres nr 22).



Wykres nr 22. Nachylenia krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji dla wartości teoretycznej, ADD0 i ADD4

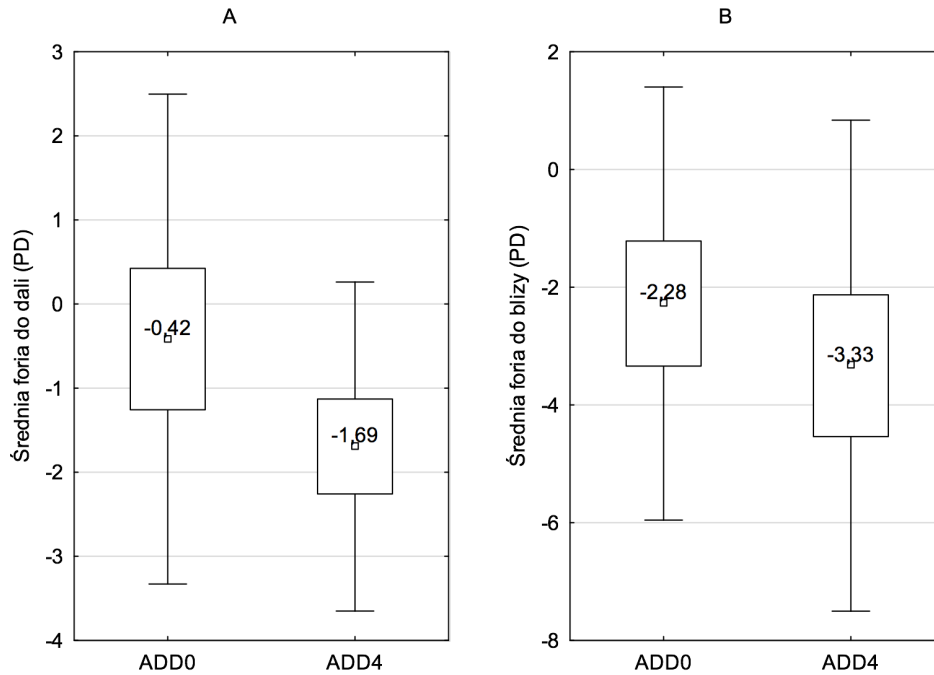


Wykres nr 23. Nachylenie krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej.

Średnie nachylenie krzywej odpowiedzi akomodacji było mniejsze dla ADD4 niż dla ADD0 (wykres nr 23), jednak różnica ta również nie była istotna statystycznie ($p = 0.068$).

Heteroforia do dali i do bliży

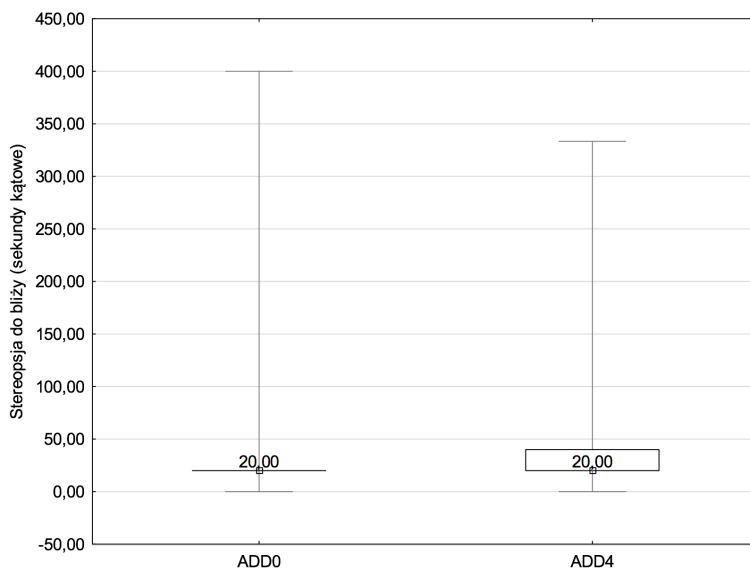
Foria zarówno do dali jak i do bliży była przesunięta w kierunku exoforii dla ADD4 w porównaniu do ADD0 (wykres nr 24), jednak efekt ten nie osiągnął istotności statystycznej zarówno dla pomiaru do dali ($p = 0.221$), jak i do bliży ($p=0.518$) wzrokowej.



Wykres nr 24. Foria do dali (A) oraz bliży (B) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej.

Stereopsja do bliży

Nie stwierdzono różnic w wartościach stereopsji do bliży pomiędzy ADD0 i ADD4 ($p = 0.259$), co pokazano na wykresie nr 25.



Wykres nr 25. Stereopsja do bliży (sekundy kątowne) dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.

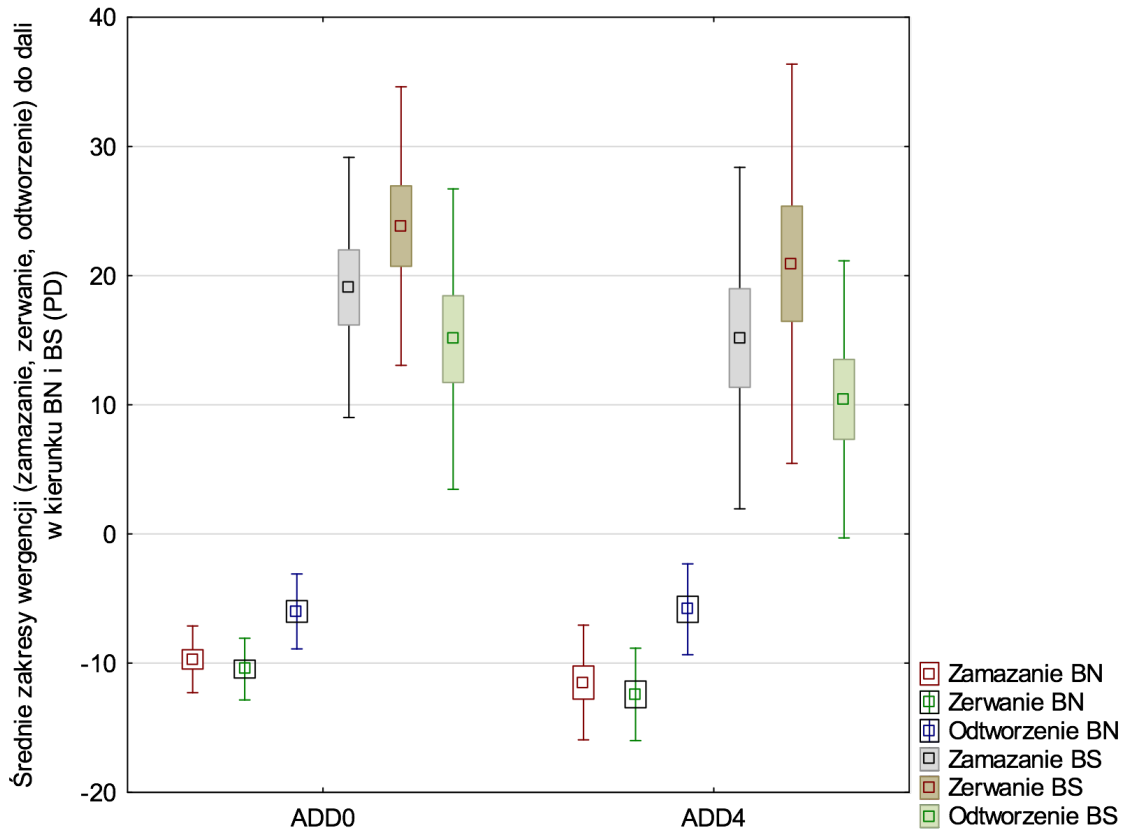
Zakresy wergencji fuzyjnej

Wartości średnich zakresów wergencji do dali i bliży zostały przedstawione w tabeli nr 9.

Tabela nr 9. Średnie zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie i odtworzenie) do dali i bliży dla ADD0 i ADD4 (PD), BS- błąd standardowy średniej

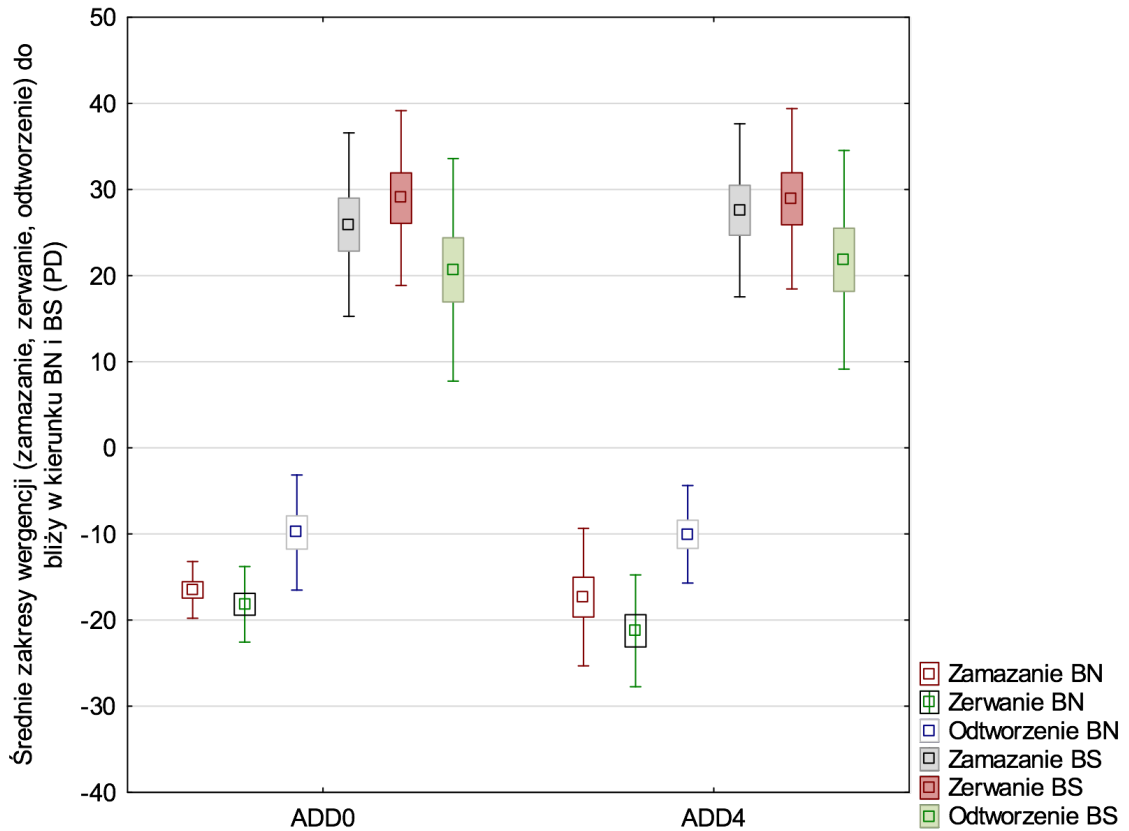
Odległość	ADD	Zamazanie BN (BS) (PD)	Zerwanie BN (BS) PD	Odtworzenie BN (BS) PD	Zamazanie BS (BS) PD	Zerwanie BS (BS) PD	Odtworzenie BS (BS) PD
Dal	ADD0	-9,71 (0,74)	-10,46 (0,69)	-6,00 (0,84)	19,08 (2,91)	23,83 (3,11)	15,08 (3,36)
Dal	ADD4	-11,50 (1,28)	-12,42 (1,03)	-5,83 (1,01)	15,17 (3,82)	20,92 (4,46)	10,42 (3,10)
Bliż	ADD0	-16,50 (0,95)	-18,17 (1,27)	-9,83 (1,93)	25,92 (3,08)	29,00 (2,93)	20,67 (3,73)
Bliż	ADD4	-17,33 (2,30)	-21,25 (1,88)	-10,04 (1,63)	27,58 (2,90)	28,92 (3,02)	21,83 (3,67)

Jak widać również na wykresie nr 26, zakresy wergencji w kierunku BS miały większe wartości niż w kierunku BN, co sugeruje istotny statystycznie efekt główny *bazy pryzmatu* ($p < 0.001$). Efekt ten był obserwowany dla obu wielkości ADD, co wykazała nieistotna statystycznie interakcja *bazy pryzmatu* x *ADD* ($p = 0.585$). Wielkość ADD nie wpłynęła jednak na wartości zakresów wergencji do dali przy analizie odpowiedzi zamazania, zerwania i odtworzenia fuzyji z osobna (nieistotna statystycznie interakcja: *bazy pryzmatu* x *ADD* x *odpowieź* ($p = 0.568$)).



Wykres nr 26. Zakresy wergencji do dali (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) w kierunku BN i BS (PD) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej.

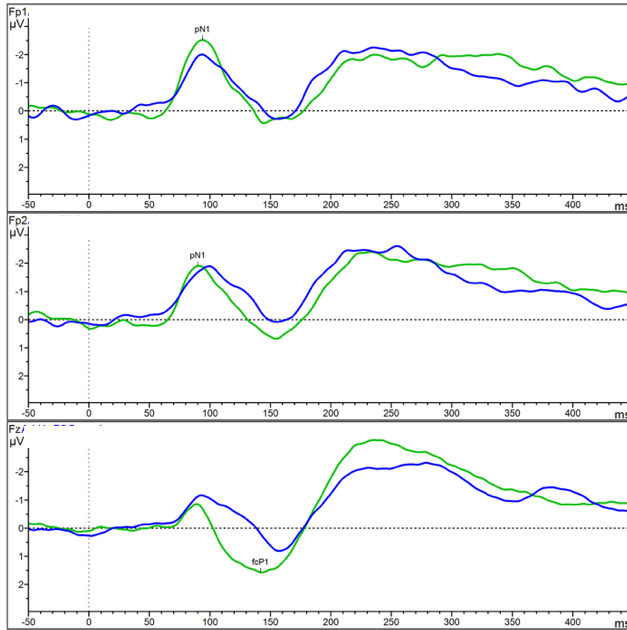
Dla pomiarów zakresów wergencji do bliży (wykres nr 27) również uzyskano większe wartości dla kierunku BS niż BN ($p < 0.001$). Efekt ten był niezależny od zastosowanej ADD, co pokazała nieistotna statystycznie interakcja *bazy pryzmatu* x *ADD* ($p = 0.651$). Ponadto efekt ten nie był zależny od odpowiedzi (zamazanie, zerwanie, odtworzenie), co potwierdza nieistotna statystycznie interakcja *bazy pryzmatu* x *ADD* x *odpowiedź* ($p = 0.927$).



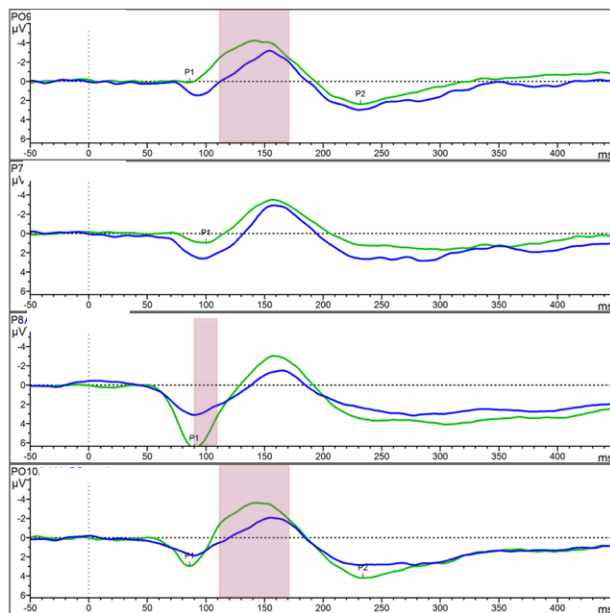
Wykres nr 27. Zakresy wergencji do bliży (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) w kierunku BN i BS (PD) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej.

5.2. Wyniki Wzrokowych Potencjałów Wywołanych

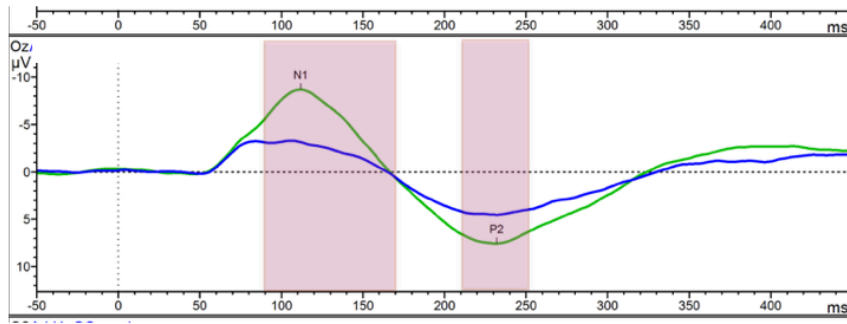
Uzyskane wyniki VEP zostały zaprezentowane na rycinach: nr 12, nr 13, nr 14 oraz na mapach LORETA (rycina nr15) i mapach topograficznych (rycina nr 16 i nr 17).



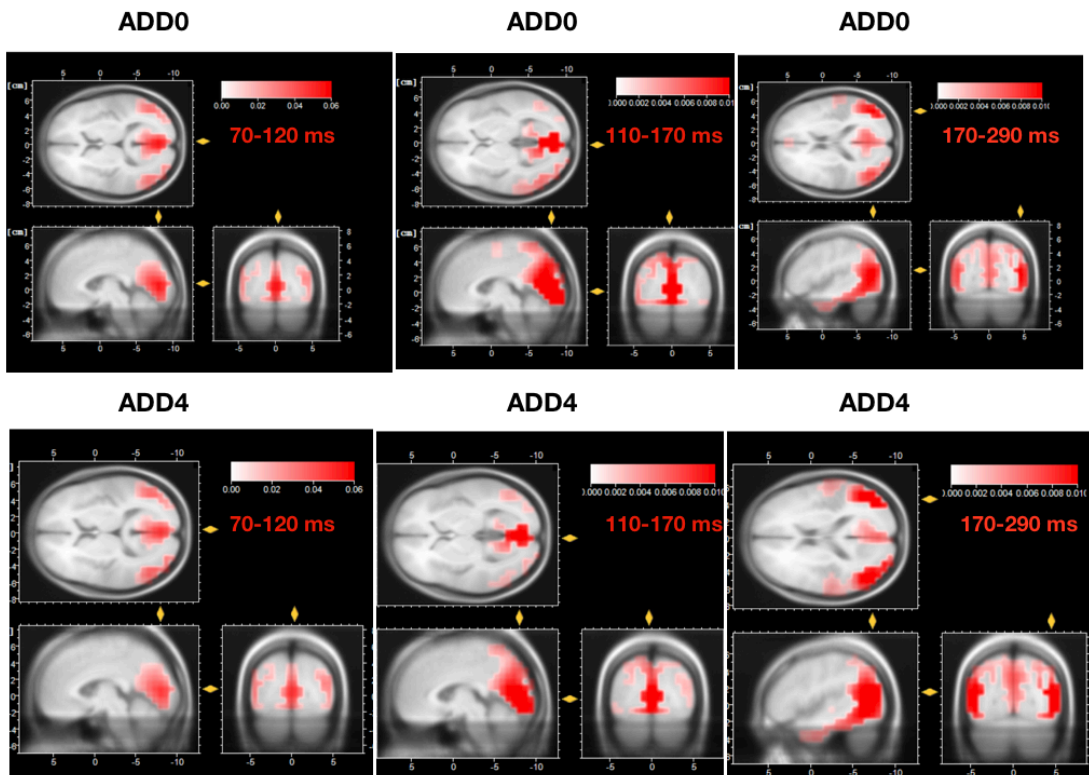
Rycina nr 12. VEP na elektrodach z grupy Fp, dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). pN1 - przedczołowy N1 (*ang. prefrontal N1*), fcP1 - czołowo-centralny P1 (*ang. fronto-central P1*).



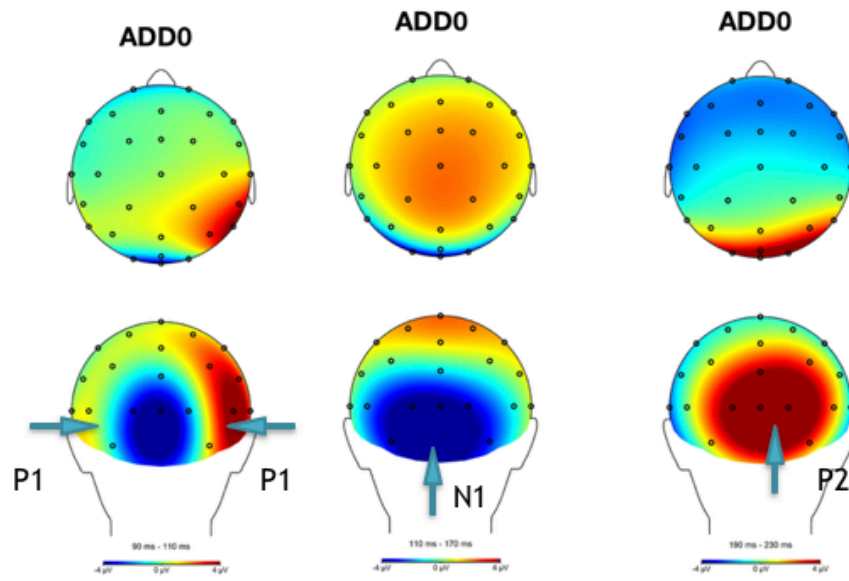
Rycina nr 13. VEP na elektrodach PO9, P7, P8 i FO10, dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). Okna czasowe z istotną statystycznie różnicą pomiędzy ADD zostały zaznaczone różowym prostokątem.



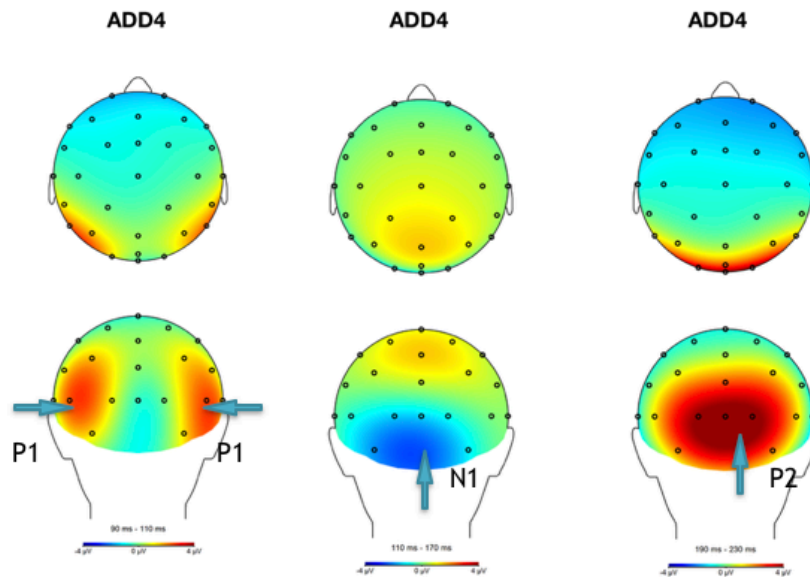
Rycina nr 14. VEP na elektrodzie Oz dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). Okna czasowe z istotną statystycznie różnicą pomiędzy ADD zostały zaznaczone różowym prostokątem.



Rycina nr 15. Mapy LORETA aktywności mózgu VEP dla ADD0 i ADD4 w oknach czasowych 70-120 ms, 110-170 ms oraz 170-290 ms po bodźcu.



Rycina nr 16. Mapy topograficzne VEP dla ADD0 w oknach czasowych 90-110 ms, 110-170 ms oraz 190-230 ms po bodźcu.



Rycina nr 17. Mapy topograficzne VEP dla ADD4 w oknach czasowych 90-110 ms, 110-170 ms oraz 190-230 ms po bodźcu.

We wczesnych oknach czasowych w obrębie potylicy widoczny jest ujemny komponent N1 (rycina nr 16), który zaczyna się w czasie około 70 ms i trwa do 170 ms po bodźcu. Zaobserwować można również wyraźny dodatni komponent P1, który najsilniej zarysowuje się w okolicy potyliczno-ciemieniowej, głównie po prawej stronie głowy. Przy ADD0 komponenty te mają dużą wartość i są wyraźnie zarysowane, natomiast przy ADD4 amplituda ich jest znacznie słabsza. Analiza statystyczna VEP w poszczególnych oknach czasowych opisana została poniżej.

W oknie czasowym 90-110 ms VEP (rycina nr 13, nr 16 i nr 17.) miały istotnie wyższe wartości przy ADD0 w porównaniu do ADD4, ale efekt ten był zależny od grupy elektrod oraz strony głowy (interakcja $ADD \times EG \times SG$: $p = 0.019$). Testy post-hoc wykazały, że istotne statystycznie różnice między ADD0 a ADD4 w VEP pojawiły się na elektrodzie P8 ($p = 0.07$) oraz Oz ($p < 0.01$).

W oknie czasowym 110-130 [ms] (rycina nr 13, nr 14, nr 16, nr 17), komponent N1 miał znacznie wyższą wartość (był bardziej ujemny) na grupie elektrod potylicznych dla ADD0 w porównaniu do ADD4 (interakcja $ADD \times EG \times SG$: $p = 0.015$). Testy post-hoc wykazały, że proces ten był istotny statystycznie dla wszystkich elektrod z grupy PO (PO9, Oz, PO10, $p < 0.036$).

Efekt ten utrzymał się w kolejnych oknach czasowych (130-150 ms oraz 150-170 ms) (rycina nr 13, nr 14, nr 16, nr 17), co potwierdziła istotna statystycznie interakcja $ADD \times EG \times SG$ dla okna czasowego 130-150 ms ($p = 0.015$) oraz testy post-hoc (ADD0 z ADD4 na PO9, Oz, PO10: $p < 0.036$), a także istotna interakcja $ADD \times EG$ dla okna czasowego 150-170 ms ($p = 0.006$) oraz testy post-hoc porównujące ADD0 z ADD4 na grupie elektrod PO ($p = 0.008$).

W oknach czasowych 170-190 ms oraz 190-210 ms, nie zaobserwowano żadnych istotnych statystycznie interakcji z czynnikiem jakim była ADD ($p > 0.050$).

W późniejszym oknie czasowym (210-230 ms) (rycina nr 14, nr 16, nr 17) w obszarze potylicznym zaobserwowano duży komponent P2 przy obu ADD. Istotna interakcja $ADD \times EG \times SG$ ($p = 0.041$) pokazała, że komponent ten miał większą wartość dla ADD0 w porównaniu do ADD4, przede wszystkim na kanale Oz ($p < 0.001$).

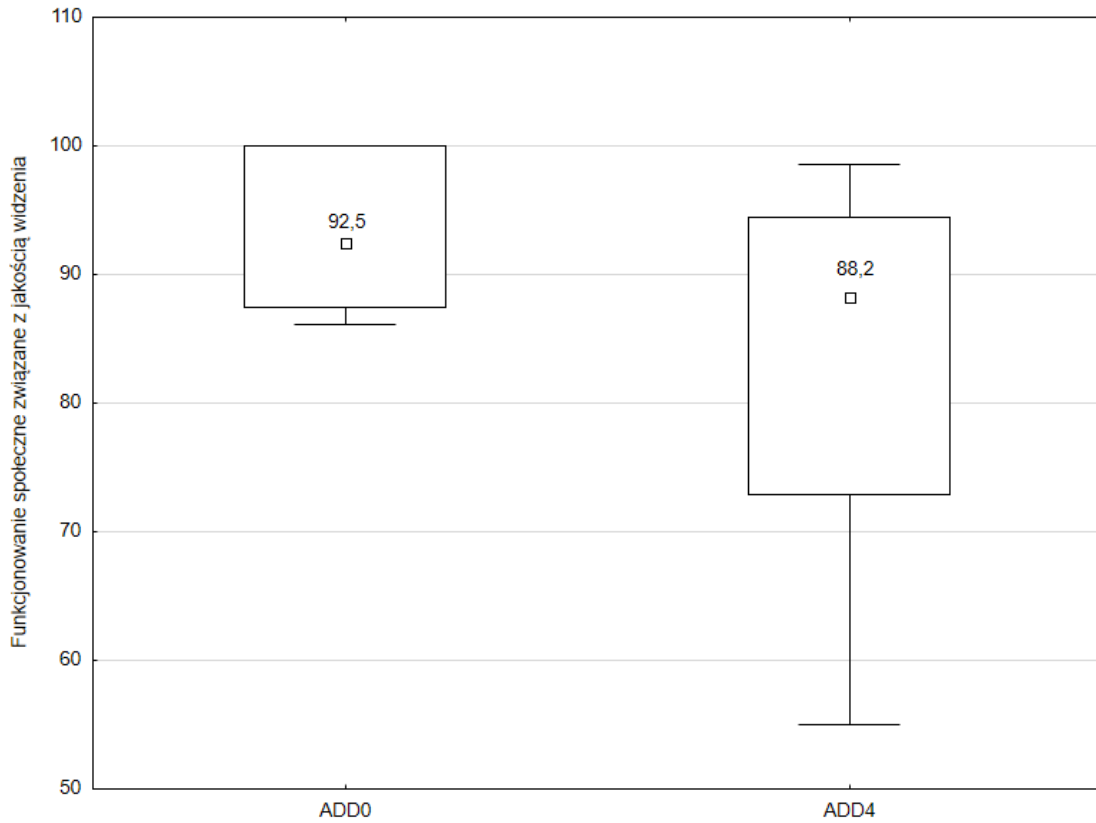
5.3. Wyniki badań ankietowych jakości widzenia

Wyniki ankiety dotyczącej jakości funkcjonowania związanego z widzeniem zostały przedstawione w tabeli nr 10.

Tabela nr 10. Wyniki ankiety (liczba uzyskanych punktów) Visual Function Questionnaire (VFQ-39), mediana oraz minimum i maksimum dla ADD0 oraz ADD4.

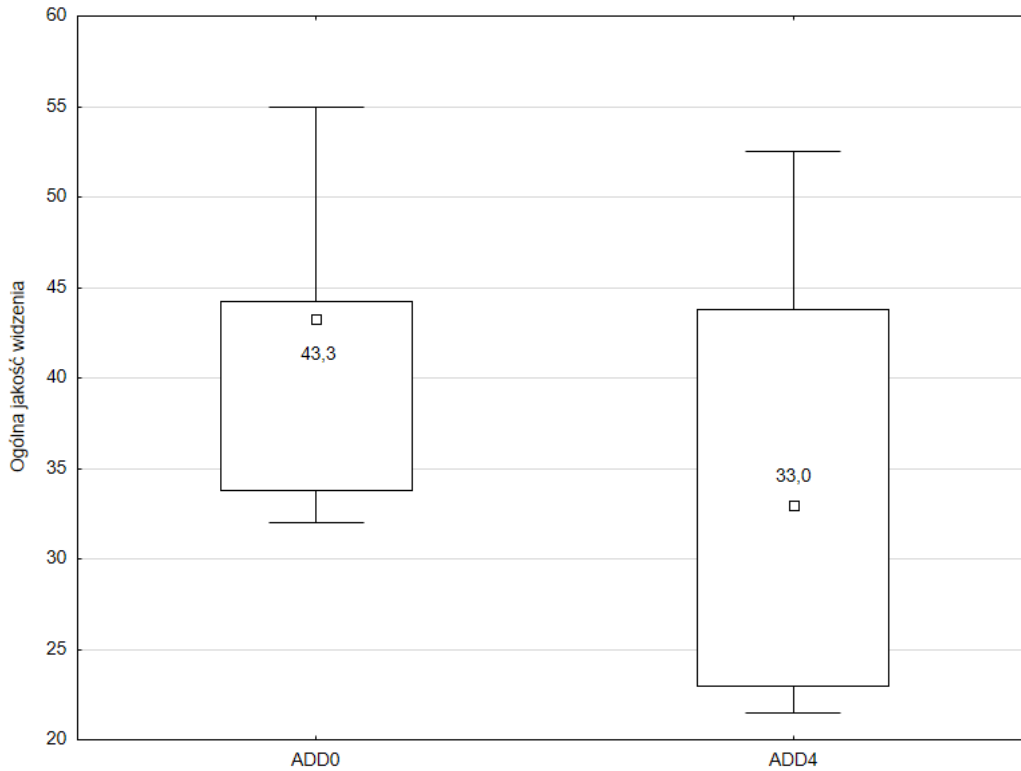
Obszar funkcjonowania związanego z jakością widzenia	Mediana	Minimum	Maksimum	Mediana	Minimum	Maksimum
Zdrowie ogólne	42,5	29,0	55,0	41,8	28,0	55,0
Ogólna jakość widzenia	43,3	32,0	55,0	33,0	21,5	52,5
Ból oczu	81,3	12,5	100,0	75,0	50,0	87,5
Aktywności związane z widzeniem do dali	87,5	62,5	100,0	79,2	40,0	95,8
Widzenie peryferyjne	100,0	75,0	100,0	100,0	25,0	100,0
Widzenie barw	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Funkcjonowanie społeczne związane z jakością widzenia	92,5	86,1	100,0	88,2	55,0	98,6
Zdrowie psychiczne związane z jakością widzenia	80,0	40,0	100,0	85,0	30,0	95,0
Trudności z określeniem roli związane z jakością widzenia	93,8	62,5	100,0	87,5	81,3	100,0
Zależność od innych związana z jakością widzenia	100,0	68,8	100,0	100,0	62,5	100,0
Prowadzenie samochodu	91,0	76,3	100,0	90,4	76,7	90,8

Na wykresie nr 28 pokazano średnią ilość punktów uzyskaną w pytaniach dotyczących funkcjonowania społecznego (związanego z jakością widzenia), która była obniżona dla ADD4 w porównaniu do ADD0, jednak różnica ta nie była istotna statystycznie ($p=0.055$).

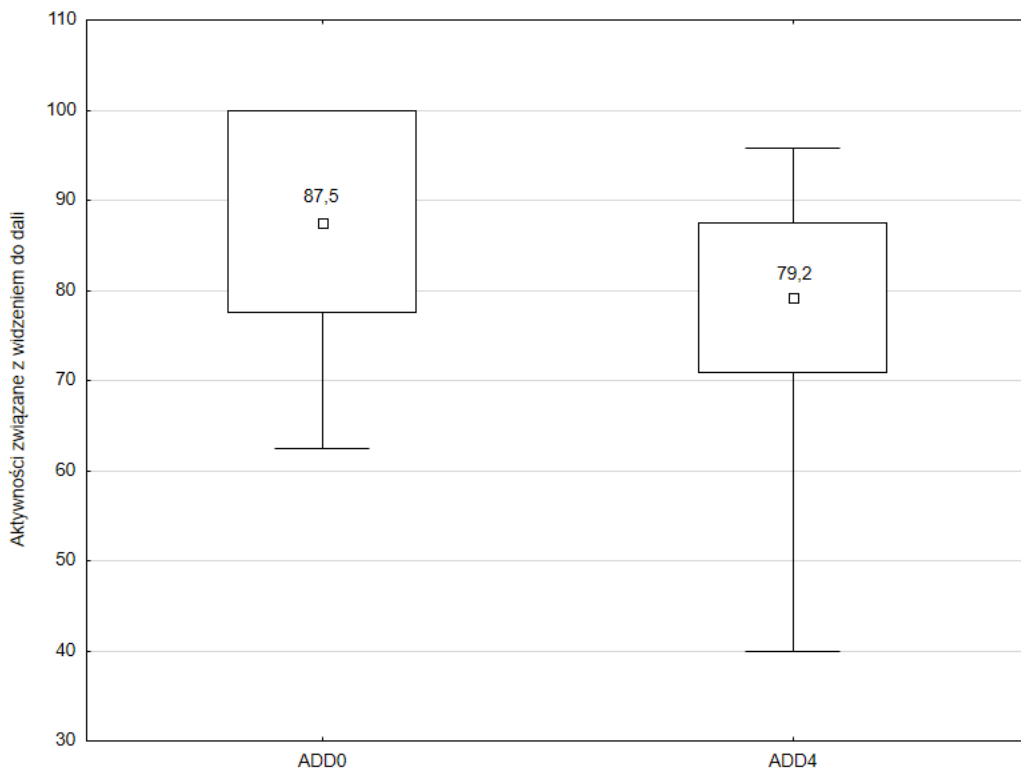


Wykres nr 28. Funkcjonowanie społeczne związane z jakością widzenia w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 oraz ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.

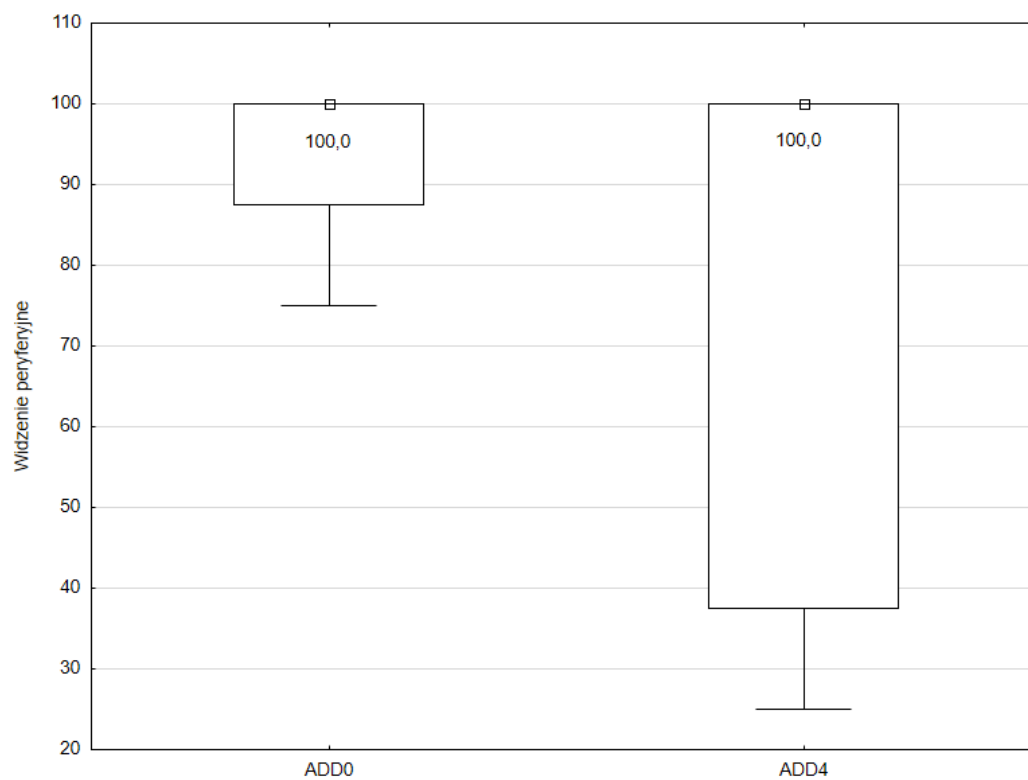
Dla pytań dotyczących ogólnej jakości widzenia (wykres nr 29), aktywności związanych z widzeniem do dali (wykres nr 30) oraz widzenia peryferyjnego (wykres nr 31) zanotowano obniżenie punktacji dla ADD4 w porównaniu do ADD0, jednak różnice te nie osiągnęły istotności statystycznej ($p > 0.064$).



Wykres nr 29. Ogólna jakość widzenia w ankiecie VFQ-39 ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.



Wykres nr 30. Aktywności związane z widzeniem do dali w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.



Wykres nr 31. Widzenia peryferyjne w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum.

6. DYSKUSJA

Istnieje wiele produktów MFSClS stosowanych do kontroli progresji krótkowzroczności dostępnych w Europie. Przy dopasowaniu takich soczewek specjalista może wybrać niektóre parametry konstrukcyjne, takie jak moc addycji w części peryferyjnej soczewki. Zgodnie z koncepcją, według której rozogniskowanie krótkowzroczne na obwodzie siatkówki może mieć hamujący wpływ na wzrost długości osiowej gałki ocznej [69], MFSClS z wysoką addycją mogą mieć potencjalnie silniejszy wpływ na hamowanie progresji krótkowzroczności w porównaniu do seryjnie produkowanych MFSClS z małą lub średnią addycją [13]. Większa skuteczność hamowania przyrostu krótkowzroczności przy addycji +2.50 D w porównaniu do addycji +1.50 D została już potwierdzona w badaniach klinicznych przeprowadzanych na dzieciach [14].

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej skupiały się na sprawdzeniu wpływu MFSClS z wysokimi addycjami na funkcje wzrokowe. Wykazano, że soczewki te w początkowej fazie (krótco po ich dopasowaniu) znacząco osłabiają widzenie peryferyjne, zwiększają ociąganie się akomodacji, forię do bliży i zakresy wergencji przesuwają w kierunku dywergencji (osłabiają konwergencję) (Eksperyment nr 1). Jednakże adaptacja do tego typu soczewek zachodzi dość szybko (po 2 tygodniach), w efekcie której wyżej wymienione deficyty nie są już obecne. Wysokie addycje w MFSClS nie są jednak w pełni obojętne dla procesu przetwarzania wzrokowego, pomimo adaptacji, na co wskazuje znaczne osłabienie aktywności kory wzrokowej (Eksperyment nr 2). Szczegółowa dyskusja zaobserwowanych efektów umieszczona została w poniższych podrozdziałach.

6.1. Eksperyment 1

Wyniki wykazały, że badane w niniejszej pracy specjalistyczne MFSCSLs przeznaczone do kontroli progresji krótkowzroczności (specjalna konstrukcja MFSCSLs Relax firmy Swisslens SA) wpływają na ostrość wzroku do dali w warunkach wysokiego kontrastu, ale jedynie przy ADD2. Efekt ten stwierdzono przy obu wielkościach strefy centralnej (CZ3 i CZ4.5). Ponadto zaskakujący jest fakt, iż obniżenie ostrości wzroku do dali nie wystąpiło przy ADD4. Wcześniejsze badania [20] na soczewkach MFSCSLs o nieco innych konstrukcjach wykazały obniżenie ostrości wzroku do dali przy niskim i wysokim kontraście w przypadku soczewek z ADD +1,50 D i +3,00 D, przy czym obniżenie ostrości wzroku do dali było znaczące i utrzymywało się po dwóch tygodniach noszenia soczewek, ale jedynie przy ADD +3,00 D. W innym badaniu [19] naukowcy stwierdzili istotne obniżenie ostrości wzroku do dali w MFSCSLs i w soczewkach dwuogniskowych z ADD +2,00 D, jedynie w warunkach słabego oświetlenia i niskiego kontrastu. Kolejne prace [93, 94], nie wykazały różnicy w ostrości wzroku do dali w warunkach wysokiego kontrastu pomiędzy addycjami +2,00 D oraz +2,50 D ADD [93]. W literaturze nie ma zgodności co do wpływu MFSCSLs stosowanych do kontroli progresji krótkowzroczności na ostrość wzroku do dali, prawdopodobnie ze względu na różne konstrukcje stosowanych soczewek i/lub protokoły badań. Brak istotnego wpływu ADD4 na ostrość wzroku, przy jednoczesnym osłabieniu tej funkcji wzrokowej przy ADD2, może sugerować, że mocno rozmyty obraz na siatkówce pochodzący z peryferyjnych części soczewek jest „ignorowany“ przez układ wzrokowy. Układ wzrokowy ma zdolności supresji informacji pochodzącej z obrazów siatkówkowych, których jakość znacząco odbiega od oczekiwanej. Jeżeli na wyraźne obrazy pochodzące z centrum soczewki nakładają się mocno rozmazane fragmenty obrazów pochodzących z peryferyjnych części soczewki, to mogą one być wytłumiane.

W badaniu nie stwierdzono natomiast wpływu badanych soczewek na ostrość wzroku do bliży, niezależnie od mocy ADD i średnicy strefy centralnej, co jest zgodne z wynikami badań Przekorackiej i wsp. [95].

Wykonano również badanie pozwalające na określenie progu wrażliwości na kontrast, co wydaje się być lepszą metodą, w porównaniu do badania ostrości wzroku,

w wykrywaniu niewielkich zmian w jakości widzenia [19, 20, 53]. Przy obu zastosowanych dodatkach (ADD2 i ADD4) zanotowano obniżenie peryferyjnej wrażliwości na kontrast, szczególnie przy małej strefie centralnej (CZ3), co wynikało prawdopodobnie z powodu większych HOAs [53, 96]. W badanych soczewkach, również zanotowano istotny wzrost całkowitych aberracji rogówki dla ADD2 i ADD4 dla obu wielkości stref centralnych (CZ3 i CZ4.5). Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi pracami Gong i wsp. [76], w których badano wrażliwość na kontrast w centralnym polu widzenia w MFSClS z ADD +2.00 oraz +2.50 w porównaniu do soczewek jednoogniskowych. W kolejnych wcześniej przeprowadzanych badaniach również odnotowano pogorszenie ostrości wzroku w warunkach obniżonego kontrastu w MFSClS z soczewkami z ADD +2,00 D stosowanych do kontroli progresji krótkowzroczności [19, 94]. Wymienione wyżej badania wskazują, że MFSClS, nawet ze średnimi ADD, wpływają na ostrość wzroku w warunkach obniżonego kontrastu. Natomiast w badanych w niniejszej pracy soczewkach kontaktowych nie zauważono istotnych różnic statystycznych w peryferyjnej wrażliwości na kontrast pomiędzy ADD2 i ADD4. Wyniki te są zgodne z pracą przedstawioną przez Przekoracką i wsp. [95], gdzie obwodowa wrażliwość na kontrast była badana w założonych MFSClS o takiej samej konstrukcji (Relax) i wysokiej ADD. Badacze stwierdzili znaczące obniżenie peryferyjnej wrażliwości na kontrast zarówno przy ADD +2.00 D jak i +4.00D, natomiast przy pomiarze wrażliwości na kontrast w centralnym polu widzenia obniżenie zanotowano jedynie przy średniej ADD (+2,00 D) [95]. Wynik ten jest zgodny z obserwacją z pierwszej części eksperymentu niniejszej pracy, a mianowicie z istotnie obniżoną ostrością wzroku do dali jedynie przy zastosowaniu ADD2 a nie ADD4. Badanie przeprowadzone przez Przekoracką i wsp. [95] różniło się jednak od obecnego eksperymentu tym, że zadaniem osoby badanej było rozróżnienie kierunku obserwowanego wzoru (dyskryminacja), a nie jak w eksperymencie z niniejszej pracy zauważenie wzoru (detekcja).

W pierwszej części eksperymentu nr 1 stwierdzono również negatywny wpływ ADD na odpowiedź akomodacji, niezależnie od wielkości CZ, co znalazło odzwierciedlenie w spłaszczonym nachyleniu krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji z ADD4 (nachylenie 0,74), jak również z ADD2 (nachylenie 0,73)

w porównaniu do ADD0 (nachylenie 0,95). Co ciekawe, soczewki z ADD4 wpływały na odpowiedź akomodacji w taki sam sposób, jak soczewki z ADD2, co sugeruje, że wysoka ADD nie wpływa na funkcje akomodacyjne w większym stopniu niż soczewki o standardowej mocy ADD, które są najczęściej stosowane do kontroli progresji krótkowzroczności. Ponadto, ociążanie się akomodacji było znacząco większe przy obu zastosowanych ADD w porównaniu do jednoogniskowych soczewek kontaktowych, ale tylko przy wielkości strefy centralnej CZ4.5, a nie CZ3. Powodem tego może być fakt, że wysokie ADD zlokalizowane blisko centrum pola widzenia mogą być łatwiej "ignorowane" przez układ wzrokowy niż niższe ADD zlokalizowane w większej odległości od centrum pola widzenia. W badaniu Gong i wsp. [76] stwierdzono zmniejszenie odpowiedzi akomodacji w soczewkach MFSCls (konstrukcja Biofinity) przy ADD +2,5 D, a nachylenie funkcji odpowiedzi akomodacyjnej zmniejszyło się z 0,82 dla soczewek kontaktowych jednoogniskowych do 0,55 dla MFSCls, co odpowiada 33% spłaszczenia funkcji.

W eksperymencie nr 1 nachylenie dla ADD2 wynosiło 0,73, co odpowiada 23% spłaszczeniu funkcji w porównaniu do ADD0. Ponadto, założenie soczewki z ADD4 w eksperymencie nr 1 spowodowało podobne spłaszczenie funkcji jak ADD2 (22% w porównaniu do ADD0). W innym badaniu Kang i wsp. [97] sprawdzili wpływ MFSCls (konstrukcja Proclear) na funkcje akomodacyjne przy zastosowaniu ADD +1,5 D i +3 D. Stwierdzono, że niższe ADD istotnie zwiększały ociążanie się akomodacji przy zastosowaniu bodźców centralnych oraz peryferyjnych. Wyniki tego badania pokazały, że wysokie ADD wpływały na funkcje akomodacyjne jedynie przy zastosowaniu bodźców peryferyjnych. Natomiast nie stwierdzono żadnego istotnego efektu przy użyciu bodźców centralnych [97]. Obserwacja ta jest zgodna z wynikami z eksperymentu nr 1, w którym pokazano, że wysokie ADD zlokalizowane bardziej centralnie mogą wpływać na funkcje akomodacyjne w mniejszym stopniu niż niższe ADD położone bardziej obwodowo.

MFSCls o średnim i wysokim ADD nie wpłynęły natomiast na sprawność akomodacji, niezależnie wielkości ADD i średnicy strefy centralnej. Wyniki te są zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Gong i wsp. [76], którzy badali soczewki

(konstrukcja Biofinity) +2.50 ADD z centrum do dali. Istnieją również badania Chung et al. [98], które pokazują, że sprawność akomodacji może być obniżona w MFSCSLs.

Druga część eksperymentu nr 1 pokazała, że badani w soczewkach MFSCSLs uzyskiwali większą exoforię do bliży w soczewkach z CZ3 w porównaniu do CZ4,5, jednak różnica ta była nieistotna statystycznie. Co zaskakujące, foria do bliży była również niezależna od wielkości ADD. Większość wcześniejszych badań wykazała statystycznie istotną zmianę forii do bliży, u osób z założonymi soczewkami MFSCSLs z centrum do dali w porównaniu do soczewek jednoogniskowych. W badaniu Kang i Wildsoet [97] stwierdzono przesunięcie forii w kierunku exoforii do bliży o wartości do 5 PD w soczewkach MFSCSLs z ADD +1,50 D i +3,00 D oraz strefą centralną do dali o średnicy 3,36 mm, w porównaniu do soczewek jednoogniskowych. Wyżej wspomniane badania wykazały większą egzoforię przy wyższych (+3.00) mocach ADD a efekt ten utrzymywał się po dwóch tygodniach noszenia soczewek. W jednym z badań przeprowadzonych na populacji pediatrycznej [76] stwierdzono istotne statystycznie przesunięcie forii w kierunku exoforii do bliży (1,65 PD dla odległości przy 0,40 m i do 3,47 PD dla odległości 0,25 m) w MFSCSLs z ADD+2,50 D i średnicą strefy centralnej do dali 2,3 mm. Podobne przesunięcie forii w kierunku exoforii uzyskiwano przy zastosowaniu innych konstrukcji soczewek kontaktowych do kontroli krótkowzroczności (np. konstrukcji koncentrycznej, dwuogniskowej) z ADD +2.00 w populacji pediatrycznej, jednak wyniki te nie były istotne statystycznie [99]. Różnica zarówno w wielkości przesunięcia w kierunku exoforii do bliży oraz istotności statystycznej pomiędzy badaniami może być efektem: zastosowania różnych konstrukcji, różnej wielkości strefy centralnej i ADD a także różnej metody i procedury pomiaru forii.

W eksperymencie nr 1 zbadano, że parametry konstrukcyjne soczewek kontaktowych mogą mieć wpływ na forię do dali, zanotowano przesunięcie w kierunku exoforii (2,06 PD) do dali w MFSCSLs z ADD4 i z małą średnicą strefy centralnej (CZ3) w porównaniu z dużym rozmiarem strefy centralnej (CZ4.5). Według najlepszej wiedzy autorki w żadnym z wcześniejszych badań nie porównywano forii do dali pomiędzy różnymi rozmiarami stref centralnych w MFSCSLs. W związku z powyższym konieczne są przyszłe badania, które pomogłyby wyjaśnić ten efekt. W badanych w niniejszej

pracy soczewkach kontaktowych nie odnotowano różnicy w forii do dali pomiędzy ADD dla CZ3 i CZ4.5. W innych badaniach również nie odnotowano statystycznie istotnego wpływu MFSCls (+2,50 ADD, rozmiar strefy centralnej 2,3 mm) [76] oraz MFSCls (+1,50 i +3,00 ADD, rozmiar strefy centralnej 3,36 mm) [100] lub soczewek o konstrukcji koncentrycznej (+2,00 ADD, rozmiar strefy centralnej 3,36 mm) [99] na forię do dali.

Zbadano, że soczewki MFSCls mają minimalny wpływ na zakresy wergencji fuzyjnej w dali. Średnie zakresy wergencji do dali w kierunku BN zmniejszyły się z 3,3 PD do 4,1 PD w soczewkach z wysokimi ADD w porównaniu z soczewkami jednoogniskowymi i niskimi ADD. Silniejszy efekt ADD odnotowano w pomiarach zakresów konwergencji fuzyjnej, gdzie ogólny spadek zakresów (3 PD) wywołany przez soczewki z ADD4 w porównaniu z ADD0 nie był zależny od wielkości strefy centralnej. Zmniejszenie zakresów konwergencji fuzyjnej do bliży może być spowodowane zmniejszoną odpowiedzią akomodacji w badanych MFSCls. Pomimo faktu, iż badane soczewki nie wywołały znaczącej exoforii do bliży, to jednak obniżona odpowiedź akomodacji prawdopodobnie przesunęła zakresy wergencji fuzyjnej w kierunku BN.

Niestety nie znaleziono wcześniejszych badań dotyczących wpływu soczewek MFSCls do kontroli progresji krótkowzroczności na zakresy wergencji, aby porównać je z obecnymi wynikami. Jednakże, efekt ten może być istotny, ponieważ dzieci krótkowzroczne wykazują bardziej rozbieżne ustawienie oczu podczas długotrwałej aktywności z bliskich odległości w porównaniu do dzieci emmetropijnych [101]. Dlatego też, z perspektywy klinicznej może to mieć zarówno pozytywny jak i negatywny wpływ na widzenie obuoczne pacjentów, w zależności od stanu wyjściowego forii i zakresów wergencji (przed zastosowaniem MFSCls).

Nie zaobserwowano żadnych istotnych zmian w MFSCls w zakresie sprawności wergencji do bliży oraz w teście równowagi stereoskopowej do dali. Nie znaleziono również wcześniejszych badań tych funkcji w MFSCls do kontroli progresji krótkowzroczności.

Ponadto nie stwierdzono również statystycznie istotnej różnicy przy pomiarze różnic fiksacji do bliży w MFSCls, a wynik ten jest zgodny z wcześniejszymi

badaniami zarówno na soczewkach MFSCSLs o ADD +1,50 i +3,00 ADD [97], jak i na soczewkach kontaktowych o konstrukcji koncentrycznej w soczewkach dwuogniskowych do kontroli progresji krótkowzroczności [99].

W eksperymencie nr 1 dla wszystkich badanych soczewek stereopsja do bliży nie była zaburzona. Wynik ten jest zgodny z wcześniejszymi badaniami na MFSCSLs o konstrukcji z centrum do dali [97, 100] oraz soczewek kontaktowych dwuogniskowych o konstrukcji koncentrycznej do kontroli krótkowzroczności [99]. W innych badaniach stereopsja do bliży była nieznacznie obniżona w różnych konstrukcjach soczewek MFSCSLs [102, 103].

MFSCSLs użyte w tym badaniu wpłynęły na stan widzenia obuocznego w sposób, który byłby uznany za klinicznie nieistotny (zmiana w forii do dali tylko 2,06 PD, pomiędzy 3-4 PD zmiany w zakresach wergencji do bliży i do dali spełniają kryteria Shearda). Jednakże badanie z eksperymentu nr 1 posiada pewne ograniczenia, takie jak użycie dwóch różnych grup badanych dla małych (CZ3) i dużych (CZ4.5) rozmiarów strefy centralnej MFSCSLs oraz pomiar tylko krótkotrwałego efektu po 1 godzinie adaptacji. Dodatkowo wyniki mogłyby być inne w przypadku pomiaru na populacji pediatrycznej, z postępującą krótkowzrocznością, ponieważ dzieci (zwłaszcza krótkowzroczne) mogą prezentować odmienny stan widzenia obuocznego [104] i odpowiedź na korekcję [105]. Wraz z rosnącym zainteresowaniem praktyków soczewkami MFSCSLs do kontroli krótkowzroczności istnieje potrzeba zbadania w przyszłości wpływu parametrów konstrukcyjnych soczewek, takich jak ADD i rozmiar CZ na jakość oraz wydajność widzenia. Ponieważ wykazano, że wprowadzenie dodatkowej mocy na peryferiach soczewki może wpływać na widzenie obuoczne, a w szczególności na zakresy wergencji do bliży, ważne jest uwzględnienie stanu widzenia obuocznego pacjentów podczas dopasowywania MFSCSLs do kontroli progresji krótkowzroczności.

Aberracje rogówki spowodowane założeniem miękkich soczewek kontaktowych mogą być wywołane wieloma czynnikami. Może to być efekt wytworzenia dodatkowej powierzchni refrakcyjnej, podziału filmu łzowego na warstwę przed i za soczewką kontaktową, konstrukcji soczewki kontaktowej, ruchu soczewki na oku, decentracji soczewki, ugięcia soczewki kontaktowej czy metody produkcji [106, 107]. Badanie

aberracji rogówki przeprowadzone w eksperymencie nr 1 pokazało, że samo umieszczenie ADD w soczewce kontaktowej zwiększa całkowite jej aberracje. W przypadku tylko wysokich dodatków (ADD4), zwiększenie rozmiaru strefy centralnej z 3 mm do 4,5 było ważnym elementem w redukcji całkowitych aberracji rogówki. Samo założenie soczewki kontaktowej na oko (niezależnie od mocy dodatku, nawet z ADD0) spowodowało zmniejszenie analizowanej aberracji 2. rzędu, czyli astygmatyzmu. Podobny efekt został uzyskany we wcześniejszych badaniach na MFSClS z centrum do dali i dodatkami +1.00 D, +1.50 D, +2.00 D oraz +2.50 D [59]. Istotną statystycznie redukcję astygmatyzmu uzyskano dla soczewki z ADD2 w grupie CZ4.5.

Ponadto, wprowadzenie MFSClS z ADD zwiększyło aberracje 3. rzędu (koma i trefoil), natomiast istotne statystycznie zwiększenie aberracji 3. rzędu występowało dla ADD2 przy obu rozmiarach strefy centralnej w porównaniu do badań bez soczewki kontaktowej. Uważa się że aberracje 3. rzędu w MFSClS mogą wynikać z decentracji MFSClS [55, 96]. Jednak przeprowadzona analiza korelacji tych aberracji z wartością decentracji soczewki nie potwierdziła tego efektu (załącznik nr 3).

Zanotowano również zwiększenie aberracji 4. rzędu (aberracja sferyczna, astygmatyzm drugorzędowy, quadrafoil) zarówno dla ADD2 jak i ADD4, przy czym najsilniejszy efekt zwiększenia aberracji tego rzędu zanotowano dla ADD4 w grupie CZ3. Zwiększenie aberracji sferycznych (4. rzędu) jest uważane za jeden z czynników mających wpływ na hamowanie progresji krótkowzroczności, zarówno w MFSClS jak i ortokeratologii [60, 108]. Dlatego też wystąpienie największych aberracji 4. rzędu przy największej addycji i najmniejszej strefie centralnej może sugerować, iż zastosowanie takich parametrów soczewek będzie miało najlepszy wpływ na hamowanie progresji krótkowzroczności w porównaniu do soczewek o średnich addycjach i dużych strefach centralnych.

Analiza aberracji 5. rzędu wykazała zwiększenie zarówno dla średnich jak i wysokich ADD, jednak tylko w grupie z małą strefą centralną. Efekt ten jakkolwiek spodziewany jest znacznie większy niż w badaniu przeprowadzonym na MFSClS (o konstrukcji Proclear) [59]. Może to wynikać z różnicy w konstrukcji soczewek np.

z wolniejszym przyrostem mocy ADD w MFSClS (o konstrukcji Proclear) w porównaniu do soczewek badanych MFSClS (o konstrukcji Relax).

Jednym z ograniczeń tego badania był fakt, że mierzone były aberracje rogówki w soczewkach kontaktowych, a nie aberracje całej gałki ocznej, albowiem na aberracje gałki ocznej mogą dodatkowo wpływać aberracje spowodowane zmienionym działaniem akomodacji [106, 107]. Jak wykazano w niniejszej rozprawie, badane MFSClS zmniejszyły odpowiedź akomodacji, co mogło mieć pewien wpływ również na całkowite aberracje gałki ocznej. Dodatkowo w badaniu nie było jednej stałej wielkości źrenicy osób badanych, co również mogłoby mieć wpływ na wyniki aberracji [109, 110].

Wykonana analiza centracji soczewek na podstawie różnicowych map tangencjalnych wykazała, że wszystkie soczewki z ADD decentrują się w kierunku do skroni i na dół. Jest to spodziewana decentracja miękkich soczewek kontaktowych, dla których podparciem jest niesymetryczna twardówka (bardziej stroma od strony skroni niż od nosa) [111]. Dodatkowo przy każdym mrugnięciu są przesuwane ku dołowi przez powiekę. Wyniki decentracji (w kierunku skroniowym i dolnym) MFSClS są zgodne z wynikami badań na MFSClS (o konstrukcji Proclear) [112] oraz na MFSClS (o konstrukcji Fusion 1 Day Presbio) [85]. Chociaż na podstawie map topograficznych Zeri i wsp. uzyskali decentrację MFSClS w kierunku skroniowym i nieznacznie ku górze, to jednak ocena w lampie szczelinowej tych samych soczewek wykazała decentrację w kierunku do dołu i do skroni. Możliwe jest, że różne moce (także ADD) oraz konstrukcje soczewek inaczej wpływają na decentrację soczewek, co powinno być uwzględnione w wyborze konstrukcji soczewki (średnicy i promienia krzywizny bazowej). W badaniu zanotowano również nieznaczną decentrację soczewek o mocy plano, co może być efektem braku ADD, który utrudniał określenie centrum soczewki przy analizie map różnicowych.

Przeprowadzona analiza decentracji soczewek dla wszystkich istotnie zmienionych aberracji rogówki w badanych MFSClS nie wykazała istotnych statystycznie korelacji. Wynik ten może oznaczać, że wielkości decentracji soczewek są

na tyle małe, że nie wpływają w istotny sposób na mierzone aberracje rogówki, a zbadane zmiany aberracji wynikają z cech konstrukcyjnych soczewek kontaktowych.

Eksperyment nr 1 pokazał, że MFSClS z wysokimi dodatkami ogólnie nie spowodowały pogorszenia parametrów widzenia jednoocznego i obuocznego w porównaniu do soczewek z dodatkami o średnich mocach. Ze względu na to, że ich skuteczność w kontroli progresji krótkowzroczności może być lepsza od soczewek ze średnimi dodatkami, warto rozważyć je w korekcji osób z narastającą krótkowzrocznością. Należy tutaj jednak podkreślić, iż zbadany istotny wpływ średnicy strefy centralnej soczewki na wiele funkcji wzrokowych (np. peryferyjną wrażliwość na kontrast) pokazuje, iż parametr ten powinien być dopasowany do wielkości źrenicy pacjenta, aby uniknąć zaburzeń widzenia jednoocznego i obuocznego oraz niepożądanych aberracji wyższego rzędu.

6.2. Eksperyment 2

Zbadane w eksperymencie nr 2 funkcje wzrokowe po 2 tygodniach noszenia soczewek kontaktowych z wysoką addycją (ADD4) i dużą strefą centralną (CZ4.5) nie wykazały pogorszenia widzenia w porównaniu do soczewek kontrolnych ADD0. Nie zanotowano istotnie statystycznych różnic zarówno w badaniu ostrości wzroku do dali jak i do bliży, peryferyjnej wrażliwości na kontrast oraz stereopsji do bliży. Ponadto, nie zaobserwowano również istotnie statystycznie zwiększonego ociągania się akomodacji, co dało lepsze wyniki niż zaobserwowane w eksperymencie 1. Widać zatem, że zaburzenia akomodacji, które pojawiają się krótko po założeniu MFSCs z wysokimi ADD, w efekcie ich stosowania przez dłuższy czas (2 tygodnie), ulegają redukcji.

Poprawę funkcji wzrokowych uzyskano również dla parametrów widzenia obuocznego. Wartości zakresów konwergencji fuzyjnej do dali i bliży nie różniły się istotnie pomiędzy grupami osób noszących przez 2 tygodnie soczewkami z ADD0 i ADD4, natomiast w eksperymencie nr 1 parametry te były istotnie przesunięte w kierunku BN (zawężone w kierunku BS). Podobnie, nie odnotowano przesunięcia forii w kierunku exoforii, co zaobserwowano w eksperymencie 1. Można zatem stwierdzić, że po 2 tygodniach układ wzrokowy zaadoptował się do soczewek o wysokich addycjach. Adaptacja do różnych MFSCs została również uzyskana we wcześniejszych badaniach [113, 114].

Pomimo, że w eksperymencie 2 wszystkie badane parametry widzenia jednoocznego i obuocznego nie były istotnie zmienione pod wpływem noszenia MFSCs z wysoką ADD, to jednak soczewki te nie były obojętne dla układu wzrokowego, na co wskazały wyniki obiektywnych badań, czyli VEP. Już w początkowych fazach przetwarzania informacji wzrokowej badane MFSCs osłabiły amplitudę sygnału dla komponentu P1, co było widoczne w okolicy potylicznej, najsilniej na elektrodzie P8 (prawa strona głowy). W okolicy tej znajduje się obszar pierwszorzędowej i drugorzędowej kory wzrokowej, odpowiedzialnej za podstawową analizę informacji wzrokowej, która następnie jest segregowana i przekazywana do wyższych ośrodków kory mózgowej [115]. MFSCs z wysoką ADD i dużą strefą centralną obniżyły również amplitudę komponentu N1, co zostało odzwierciedlone na elektrodach w okolicy kory potyliczno-ciemieniowej (głównie na PO9 i PO10 oraz Oz).

Oslabienie komponentu N1 może wiązać się z upośledzeniem w rozróżnianiu informacji wzrokowej, a w konsekwencji prowadzić do utrudnionego kodowania docierających do mózgu bodźców wzrokowych [115, 116]. Zanotowano również istotne statystycznie obniżenie komponentu P2 dla MFSClS z wysoką ADD, co widoczne było w obszarze potyliczno-ciemieniowym (głównie na elektrodzie Oz). Badania naukowe wykazały, że komponent ten jest odpowiedzialny za świadome przetwarzanie informacji wzrokowej i odzwierciedla procesy przetwarzania zachodzące na wyższych piętrach kory mózgowej [117].

Wcześniejsze badania VEP efektu adaptacji do monowizji wywołanej soczewkami kontaktowymi (korekcji oka dominującego do dali oraz niedominującego do bliży) wykazały obniżenie amplitudy komponentu N1 oraz zwiększenie amplitudy komponentu P1 [117]. Różnice pomiędzy badaniami mogły wynikać z faktu, iż monowizja tworzy zupełnie inne warunki rozogniskowania w porównaniu do MFSClS. Oba badania, zarówno przeprowadzone w niniejszej pracy, jak i przedstawione przez Zeri i wsp. [117] wykazują, że wprowadzenie soczewek kontaktowych zaburzających częściowo widzenie oboczne lub widzenie peryferyjne, nie są obojętne dla sygnału docierającego do mózgu. Pomimo tego, że w procesie adaptacji podstawowe funkcje wzrokowe, które były badane w ramach niniejszej rozprawy uległy poprawie, to jednak aktywność kory mózgowej była nadal znacząco osłabiona. Możliwe jest, że mózg ludzki potrafi się zaadaptować do wywołanych przez MFSClS zmian w obrazie siatkówkowym, jeżeli chodzi o podstawowe funkcje wzrokowe, ale słabsza jakość obrazu siatkówkowego wpływa na przetwarzanie informacji wzrokowych, nawet po 2 tygodniach adaptacji. Obserwacja ta jest bardzo istotna, ponieważ w życiu codziennym wykonujemy wiele złożonych zadań zależnych od procesu widzenia. Zadaniem takimi jest chociażby czytanie, pisanie, poszukiwanie wzrokowe, czyli procesy, dla których jakość obrazu siatkówkowego jest bardzo ważna, a słabszy sygnał korowy może utrudnić wykonywanie tych czynności. Uzyskane w tej pracy wyniki VEP sugerują, że należy zachować ostrożność w wyborze soczewek MFSClS z wysokimi addycjami u dzieci, ponieważ nie zbadano jeszcze w pełni ich wpływu na codzienne aktywności wzrokowo-ruchowe i nie ma pewności, że nie zaburzą one rozwoju dziecka na przestrzeni kilku lat ich stosowania. Dodatkowo, zauważono, że badania wpływu

MFSCs na funkcjonowanie pacjenta nie powinny ograniczać się jedynie do prostych funkcji wzrokowych, jak ma to miejsce w dotąd dostępnych pracach naukowych, ale wskazane jest rozszerzenie ich o badania wyższych funkcji poznawczych.

Badanie subiektywnych odczuć osób noszących soczewki kontaktowe projektowanych do kontroli progresji krótkowzroczności było postulowane we wcześniejszych publikacjach i pracach przeglądowych [17, 118]. W przeprowadzonym eksperymencie nie wykazano jednak, że soczewki kontaktowe z wysoką ADD oraz dużą strefą centralną mogą istotnie wpływać na subiektywną ocenę funkcjonowania wzrokowego. Obniżenie punktacji w ankiecie VFQ-25 (z dodatkowymi pytaniami) zanotowano w większości badanych obszarów funkcjonowania wzrokowego, jednak różnice te nie osiągnęły istotności statystycznej. Osoby badane w eksperymencie nr 2 miały pełną świadomość, że noszą soczewki kontaktowe jedynie przez czas trwania eksperymentu (2 tygodnie), nie wiadomo jednak jaka byłoby ich ocena funkcjonowania związanego z widzeniem przy ciągłym użytkowaniu badanych soczewek kontaktowych.

Ogólnie, wyniki badań z eksperymentu 2 pokazały, że nastąpiła adaptacja do MFSCs z wysokimi ADD, a parametry widzenia jednoocznego i obuocznego nie były obniżone w porównaniu do soczewek jednoogniskowych. Jednak obniżona aktywność kory mózgowej wskazuje, że pomimo dobrych parametrów funkcji wzrokowych (rutynowo mierzonych w gabinetach specjalistów dopasowujących takie soczewki kontaktowe), możliwe jest pogorszenie jakości widzenia i potencjalne trudności z przetwarzaniem informacji wzrokowej. W związku z powyższym, specjalista powinien nie ograniczać się w swojej ocenie skuteczności działania zalecanego produktu jedynie na mierzeniu parametrów funkcji wzrokowych, ale powinien on także prowadzić pogłębiony wywiad z pacjentem. Specjalista może też zastosować specjalnie zaprojektowane ankiety, pozwalające ocenić funkcjonowanie wzrokowe pacjenta stosującego MFSCs w celu kontroli progresji krótkowzroczności.

7. WNIOSKI OGÓLNE

1. MFSCSLs z wysokimi addycjami (ADD4) i średnimi addycjami (ADD2) w podobny sposób wpłynęły na podstawowe funkcje wzrokowe takie jak: ostrość wzroku, wrażliwość na kontrast, akomodację i większość parametrów widzenia obuocznego. Badane soczewki MFSCSLs wywołały osłabienie odpowiedzi akomodacji, przesunięcie forii i zakresów wergencji w kierunku BN oraz zaburzyły peryferyjną wrażliwość na kontrast.
2. Średnica strefy centralnej jest parametrem, który powinien być brany pod uwagę przy dopasowywaniu soczewek MFSCSLs do kontroli progresji krótkowzroczności, ponieważ może mieć wpływ na peryferyjną wrażliwość na kontrast, odpowiedź akomodacji oraz aberracje rogówki.
3. Parametry MFSCSLs, takie jak wielkość addycji i rozmiar strefy centralnej, mogą wpływać na widzenie obuoczne.
4. Okres 2 tygodni stosowania MFSCSLs z wysokimi addycjami (ADD4) jest wystarczający, aby zaburzenia podstawowych funkcji wzrokowych i obuocznych uległy poprawie w efekcie adaptacji układu nerwowego.
5. Uzyskane wyniki badań dotyczących jakości widzenia w różnych konstrukcjach MFSCSLs do kontroli progresji krótkowzroczności, potwierdzają potrzebę dalszych eksperymentów w oparciu o ujednolicone, porównywalne metody oraz protokoły badawcze, w celu uzyskania powtarzalności i uniknięcia sprzecznych wyników występujących w piśmiennictwie.
6. MFSCSLs z wysokimi ADD mogą istotnie wpływać na aktywność mózgu oraz procesy przetwarzania informacji wzrokowej, a metoda VEP stanowi istotne narzędzie do obiektywnej oceny funkcji widzenia przy zastosowaniu różnych typów soczewek terapeutycznych.

8. STRESZCZENIE

Cel: Celem pracy było sprawdzenie wpływu soczewek kontaktowych wieloogniskowych z średnimi i wysokimi addycjami (z centrum do dali), zaprojektowanymi do kontroli progresji krótkowzroczności, na parametry widzenia jednoocznego, obuocznego oraz aberracje rogówki. Dodatkowo, sprawdzano adaptację do tych soczewek po upływie 2 tygodni, poprzez subiektywną ocenę funkcjonowania związanego z widzeniem, jak i pomiar aktywności kory mózgowej.

Metoda: Prospektywne badanie z randomizacją oraz podwójnie zaślepioną próbą zostało podzielone na 2 eksperymenty. Do każdego z eksperymentów zakwalifikowano po 24 osoby dorosłe bez chorób oczu oraz nieprawidłowości w widzeniu jednoocznym i obuocznym.

W pierwszym eksperymencie badano wpływ wieloogniskowych soczewek kontaktowych (indywidualnie projektowanych Relax firmy Swisslens SA) z addycją +2.00 D, +4.00 D, przy dwóch różnych strefach centralnych do dali (3 mm oraz 4.5 mm) oraz soczewek o mocy plano (Orbis) na: ostrość wzroku do dali i bliży, odpowiedź akomodacji, sprawność akomodacji, peryferyjną wrażliwość na kontrast, forię do dali oraz bliży, zakresy dergencji fuzyjnej, sprawność wergencji do bliży, stereopsję do bliży, niedokładność fiksacji do bliży, test równowagi stereoskopowej oraz aberracje rogówki.

W drugim eksperymencie uczestnicy badani byli po 2 tygodniach noszenia soczewek wieloogniskowych Relax z addycją +4.00 D (połowa badanych) w stosunku do soczewek z mocą plano (Orbis). W eksperymencie tym zbadano następujące parametry: ostrość wzroku do dali i bliży, odpowiedź akomodacji, peryferyjną wrażliwość na kontrast, forię do dali i bliży, zakresy wergencji fuzyjnej do dali i bliży, stereopsję do bliży, wzrokowe potencjały wywołane oraz badanie ankietowe jakości funkcjonowania związanego z widzeniem.

Wyniki: W eksperymencie nr 1 zaobserwowano obniżoną ostrość wzroku do dali dla średniego dodatku (+2.00 D) ($p=0.019$) oraz zwiększenie ociążania się akomodacji dla średniej (+2.00 D) i wysokiej addycji (+4.00 D) ($p=0.003$) w porównaniu do soczewek z mocą zerową. Zauważono także istotne pogorszenie peryferyjnej wrażliwości na kontrast przy soczewkach o małej strefie centralnej (3 mm)

($p < 0.001$) oraz wraz ze wzrostem addycji ($p < 0.001$). Średnie wartości forii do dali były bardziej przesunięte w kierunku exoforii dla małej strefy centralnej (3 mm) w porównaniu do dużej strefy centralnej (4.5 mm) przy wysokiej addycji (+4.00 D) ($p = 0.035$). Zaobserwowano również zmniejszenie zakresów konwergencji fuzyjnej do dali w kierunku do skroni dla wysokich addycji (+4.00 D) w porównaniu do średnich addycji i soczewek z mocą zerową ($p = 0.002$). Zakresy konwergencji fuzyjnej w kierunku baza nos były zależne od wielkości addycji oraz strefy centralnej ($p = 0.014$). Aberracje rogówki również zwiększały się ze wzrostem addycji ($p < 0.05$).

W eksperymencie nr 2 nie uzyskano istotnych statystycznie różnic pomiędzy wysokim dodatkiem (+4.00) oraz soczewką plano w ostrości wzroku do dali ($p > 0.05$) oraz do bliży ($p > 0.05$), ociąganiu się akomodacji ($p > 0.05$), peryferyjnej wrażliwości na kontrast ($p > 0.05$) oraz w zakresach wergencji fuzyjnej do dali i bliży ($p > 0.05$). Natomiast badanie aktywności mózgu wykazało istotne statystyczne osłabienie wartości wzrokowych potencjałów przy soczewkach z wysoką addycją (+4.00 D) w porównaniu do soczewek plano ($p < 0.01$). Badanie ankietowe nie wykazało istotnych statystycznie różnic w funkcjonowaniu związanym z widzeniem u badanych noszących soczewki z addycją (+4.00) przez 2 tygodnie.

Wnioski: Wysokie addycje (+4.00 D) wpływały na parametry widzenia jednoocznego i obuocznego w podobny sposób jak średnie addycje (+2.00 D). Parametry widzenia obuocznego powinny być rutynowo badane przed dopasowaniem soczewek kontaktowych wieloogniskowych do kontroli progresji krótkowzroczności. Dodatkowo średnica strefy centralnej jest istotnym parametrem geometrii soczewki, który powinien być również brany pod uwagę przy wyborze soczewek wieloogniskowych dla pacjenta. Po 2 tygodniach noszenia soczewek występuje adaptacja do wysokich addycji i poprawa parametrów widzenia jednoocznego oraz obuocznego. Jednakże wyniki pomiaru wzrokowych potencjałów wywołanych pokazały, że badane soczewki mogą utrudniać przetwarzanie informacji wzrokowej i wykonywanie czynności wymagających wyższych funkcji poznawczych.

Title:**Effects of medium and high addition power in multifocal soft contact lenses on monocular and binocular vision parameters****ABSTRACT**

Purpose : The purpose of this study was to examine the effects of medium- and high-addition (center distance) multifocal soft contact lenses, designed for myopia control on monocular vision and binocular vision functions, and corneal aberrations. Furthermore, adaptation to these lenses after two weeks of wear was evaluated by functional assessment and measurement of cortical activity.

Methods: A prospective randomized and double-blinded study was divided into two experiments. Twenty-four adults without eye disease or abnormalities of monocular or binocular vision were enrolled in each experiment.

In the first experiment, the effect of multifocal soft contact lenses with addition +2.00 D, +4.00 D (custom-designed with two different central zones for distance (3 mm and 4.5 mm, Relax from Swisslens) and plano control lens were examined. Measured parameters were distance and near visual acuity, response of accommodation, accommodative facility, peripheral contrast sensitivity, distance and near phoria, distance and near vergence ranges, vergence facility at near, stereopsis at near, fixation disparity at near, stereo balance test at a distance, and corneal aberrations.

In the second experiment, subjects were tested after two weeks of wearing Relax multifocal lenses with addition +4.00 D (half of the subjects) versus plano control lenses (Orbis). The following parameters were examined in second experiment: distance and near visual acuity, response of accommodation, peripheral contrast sensitivity, distance and near phoria, distance and near vergence ranges, stereopsis at near, visual evoked potentials, and visual functioning questionnaire.

Results: In the first experiment, reduced visual acuity at distance for medium addition (+2.00 D) ($p=0.019$), increased lag of accommodation for medium addition (+2.00 D) and high addition (+4.00 D) ($p=0.003$) compared to Plano lenses were observed. A significant decrease in peripheral contrast sensitivity was also observed in lenses with a small central zone (3 mm) ($p<0.001$) and with increasing addition

($p < 0.001$). Mean phoria values were shifted toward exophoria in the small central zone (3 mm) compared to the large central zone (4.5 mm) with high addition lenses (+4.00 D) ($p = 0.035$). A decrease in fusional vergence ranges in base out direction was also observed in high addition (+4.00 D) compared to medium addition and plano lenses ($p = 0.002$). The near vergence ranges in the base in direction were dependent on the addition power and the central zone size ($p = 0.014$). Corneal aberrations also increased with addition power ($p < 0.05$).


In the second experiment, no statistically significant differences were obtained between the high addition (+4.00) and plano lens visual acuity at distance ($p > 0.05$) and near ($p > 0.05$), lag of accommodation ($p > 0.05$), peripheral contrast sensitivity ($p > 0.05$), and fusional vergence ranges at a distance and near ($p > 0.05$). On the other hand, a brain activity study showed a statistically significant weakening of visual evoked potential amplitude with high-addition lenses (+4.00 D) compared to Plano lenses ($p < 0.01$). A questionnaire study showed no statistically significant differences in vision-related functioning in subjects wearing lenses with additions (+4.00) for 2 weeks.

Conclusions : Multifocal soft contact lenses with high additions (+4.00 D) affected monocular and binocular vision parameters similarly to medium additions (+2.00 D). Binocular vision parameters should be routinely tested before fitting multifocal soft contact lenses for myopia control. Furthermore, central zone diameter is an important lens geometry parameter that should also be considered when selecting a multifocal lens for a patient. After two weeks of lens wear, there is an adaptation to high addition power lenses and improvement in monocular and binocular vision parameters. However, the results of the visual evoked potentials showed that multifocal soft contact lenses with high addition power may impede visual information processing and performance of activities requiring higher cognitive functions.

9. ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1.

Zgoda komisji bioetycznej



UNIWERSYTET MEDYCZYNY IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

KOMISJA BIOETYCZNA PRZY UNIwersYTECIE MEDYCZNYM
IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

Collegium Stomatologicum
ul. Bukowska 70
60-812 Poznań

tel. (+48 61) 854 73 36
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 1112/18

Na podstawie przepisów Ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarzy i lekarzy dentyści (t.j. Dz. U. z 2017, poz. 125 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych (Dz. U. Nr 47, poz. 480); Ustawy z dnia 6 września 2001r. Prawo farmaceutyczne (t.j. Dz. U. z 2016, poz. 2142 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. 2004 nr 101, poz. 1034 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 18 maja 2005r. zmieniające rozporządzenie w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. Nr 101, poz. 845); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie sposobu prowadzenia badań klinicznych z udziałem małoletnich (Dz. U. 2004 Nr 104, poz. 1108); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie zgłaszania niespodziewanego ciężkiego niepożądanego działania produktu leczniczego (Dz. U. Nr 104, poz. 1107); Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 lutego 2016 r. i w sprawie wzorów wniosków związanych z badaniem klinicznym wyrobu medycznego lub aktywnego wyrobu medycznego do implantacji oraz wysokości opłat za złożenie tych wniosków (Dz. U. z 2016 r., poz. 208); Ustawy z dnia 20 maja 2010 r. o wyrobach medycznych (t.j. Dz. U. z 2017r. poz. 211, z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 6 października 2010 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej sponsora i badacza klinicznego w związku z prowadzeniem badania klinicznego wyrobów (Dz. U. 2010, Nr 194 poz. 1290); Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych (t.j. Dz. U. z 2016 r., poz. 1718); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie Dobrej Praktyki Klinicznej (Dz. U. 2012, poz. 489); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie wzorów dokumentów przedkładanych w związku z badaniem klinicznym produktu leczniczego oraz w sprawie wysokości i sposobu uiszczania opłat za złożenie wniosku o rozpoczęcie badania klinicznego (Dz. U. 2012, Nr 0 poz. 491); w oparciu o Deklarację Helsińską - Zasady Etycznego Postępowania w Eksperymentach Medycznych z Udziałem Ludzi oraz przepisy ICH GCP.

Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 07 listopada 2018 r.

rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.

Kierownicy projektu: dr hab. n. o zdr. Jan Olszewski
dr n. fiz. Anna Przekoracka-Krawczyk

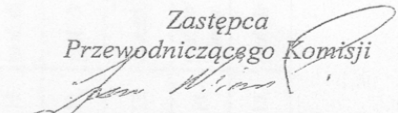
Miejsce prowadzenia badań:
Laboratorium Fizyki Widzenia i Neuronauki, Centrum NanoBioMedyczne,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Główny badacz: mgr Sylwia Kropacz-Sobkowiak

Członkowie zespołu badawczego: dr hab. Jan Olszewski, dr Anna Przekoracka-Krawczyk,
dr n. med. Andrzej Michalski, dr n. med. Krzysztof Michalak

Temat badań:
„Wpływ średnich i wysokich addycji w wieloogniskowych soczewkach kontaktowych na parametry widzenia jedno-i obuocznego”.

Komisja wydała uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku

Zastępca
Przewodniczącego Komisji

prof. dr hab. Janusz Wiśniewski

Załącznik nr 2.**Ankieta VFQ-25 (z dodatkowymi pytaniami, wersja 39)**

Część 1 – Zdrowie ogólne i widzenie

1. Ogólnie, twój stan zdrowia jest:
 - Doskonały..... 1
 - Bardzo dobry..... 2
 - Dobry..... 3
 - Dostateczny 4
 - Słaby..... 5
2. Uważasz, że obecnie twój wzrok (używając okularów lub soczewek kontaktowych) jest:
 - Doskonały..... 1
 - Bardzo dobry..... 2
 - Dobry..... 3
 - Dostateczny 4
 - Słaby..... 5
3. Przez jak dużą część czasu martwisz się o stan swojego wzroku?
 - W ogóle się nie martwię..... 1
 - Przez małą część czasu..... 2
 - Przez trochę czasu..... 3
 - Przez większość czasu..... 4
 - Cały czas..... 5
4. Jak duży ból lub dyskomfort odczuwasz w oczach lub wkoło nich (np. pieczenie, swędzenie)?
 - Brak bólu..... 1
 - Łagodny..... 2
 - Średni..... 3
 - Silny 4
 - Bardzo silny..... 5

Część 2 – Trudności podczas aktywności

5. Jak duże masz trudności czytając zwyczajny druk np. w gazecie?
 - Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
6. Jak duże masz trudności pracując lub uprawiając swoje hobby które wymaga dobrego widzenia z bliska (np. gotowanie, szycie, naprawianie rzeczy wkoło domu lub używanie małych narzędzi) ?
 - Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6

7. Z powodu jakości widzenia, jak duże masz trudności ze znajdowaniem czegoś w pełnej szafie?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
8. Jak duże masz trudności czytając znaki drogowe lub nazwy sklepów?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
9. Z powodu jakości widzenia, jak duże masz trudności z robieniem kroków w dół, schodzeniem po schodach lub z krawężnika w ciemnym oświetleniu lub w nocy?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
10. Z powodu jakości widzenia, jak duże masz trudności z zauważaniem przedmiotów znajdujących się z boku podczas chodzenia?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
11. Z powodu jakości widzenia, jak duże masz trudności z zauważaniem reakcji innych ludzi na to ci mówisz?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
12. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności wybierając lub dobierając twoje ubrania?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3

- Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
13. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności podczas wizyt u znajomych w ich domach, na imprezach lub w restauracjach?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
14. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności wychodząc do kina, grając w gry lub biorąc udział w wydarzeniach sportowych?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
15. Czy prowadzisz samochód, przynajmniej raz w ostatnim czasie?
- Tak (przejdź do pytania 15c)..... 1
 - Nie 2
- a. Jeżeli nie: Czy kiedykolwiek prowadziłeś samochód czy zrezygnowałeś z tego?
- Nigdy nie prowadziłem..... 1
 - Zrezygnowałem..... 2
- b. Jeżeli zrezygnowałeś z prowadzenia samochodu: Było to głównie z powodu:
- Jakości widzenia 1
 - Innego powodu..... 2
 - Oba powody wymienione powyżej..... 3
- Przejdź do pytania 17 w części 3.
- c. Jeżeli prowadzisz samochód: Jak dużo masz trudności z prowadzeniem samochodu w dzień w twojej okolicy?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
16. Jak dużo masz trudności prowadząc samochód w nocy?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5

- Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
- a. Jak duże masz trudności jeżdżąc w trudnych warunkach, jak złe warunki pogodowe, podczas godzin szczytu, na autostradzie lub w centrum miasta?
 - Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6

Część 3- Reakcje na problemy wzrokowe

Pytanie	Cały czas	Większość czasu	Część czasu	Trochę	Wcale
17. Czy osiągasz mniej niż byś chciał/chciała z powodu widzenia?	1	2	3	4	5
18. Czy twój wzrok ogranicza czas trwania twojej pracy lub innych aktywności?	1	2	3	4	5
19. Jak dużo bólu lub dyskomfortu w twoich oczach lub wkoło nich powstrzymuje cię przed robieniem tego co lubisz?	1	2	3	4	5

Pytanie: Z powodu jakości mojego widzenia	Na pewno tak	Tak	Nie wiem	Nie	Na pewno nie
20. Zostaję w domu przez większość czasu	1	2	3	4	5
21. Czuję się sfrustrowany/-a przez większość czasu	1	2	3	4	5
22. Mam mniej kontroli nad tym co robię	1	2	3	4	5
23. Zbyt często muszę polegać na innych	1	2	3	4	5
24. Obawiam się, że rzeczy, które robię mogą zawstydzić mnie lub innych	1	2	3	4	5

Dodatkowe pytania

25. Jak oceniasz swoje zdrowie w poniższej skali?

0 Źle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Dobrze
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

26. Jak oceniasz jakość swojego widzenia (w okularach i/lub soczewkach kontaktowych)?

0 Źle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Dobrze
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

27. Jak dużo masz trudności czytając mały druk w książce, na lekach lub na umowach?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
28. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności z ocenieniem/wyliczeniem czy otrzymany rachunek jest prawidłowy/dokładny?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
29. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności goliąc się/ stylizując włosy lub nakładając makijaż?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
30. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności z rozpoznawaniem ludzi, których znasz, znajdujących się na drugim końcu pokoju/pomieszczenia?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
31. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności biorąc udział w aktywnościach sportowych lub innych aktywnościach na zewnątrz które sprawdzają ci radość (jak golf, kręgle, bieganie, spacer)?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
32. Z powodu jakości widzenia, jak dużo masz trudności z oglądaniem i czerpaniem radości z oglądania programów telewizyjnych?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2

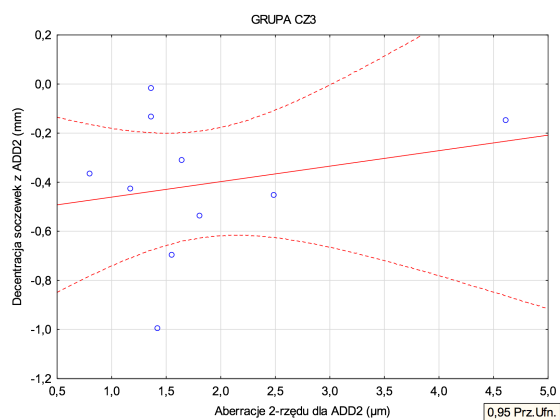
- Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6
33. Z powodu jakości widzenia, jak dużo trudności masz z rozrywkami ze znajomymi i rodziną w twoim domu?
- Brak trudności..... 1
 - Małe trudności..... 2
 - Średnie trudności..... 3
 - Ogromne trudności..... 4
 - Zrezygnowałem/Zrezygnowałam z tego z powodu stanu mojego wzroku..... 5
 - Zrezygnowałem/zrezygnowałam z tego z innych powodów lub nie jestem zainteresowany robieniem tego..... 6

Pytanie	Cały czas	Większość czasu	Część czasu	Trochę	Wcale
34. Czy potrzebujesz większej pomocy od innych z powodu jakości twojego widzenia?	1	2	3	4	5
35. Czy twój wzrok ogranicza cię w robieniu rzeczy, które potrafisz?	1	2	3	4	5

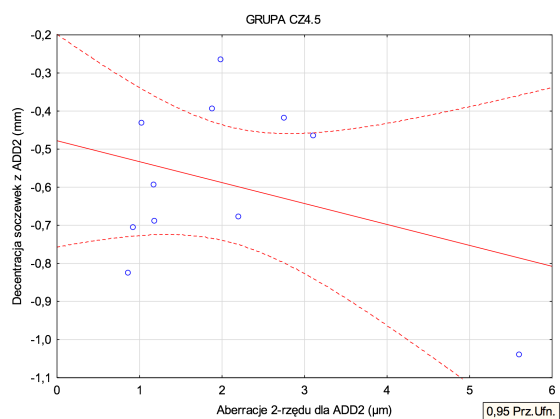
Pytanie: Z powodu jakości mojego widzenia	Na pewno tak	Tak	Nie wiem	Nie	Na pewno nie
36. Jestem często zirytowany	1	2	3	4	5
37. Nie wychodzę sam z domu	1	2	3	4	5

Załącznik nr 3.

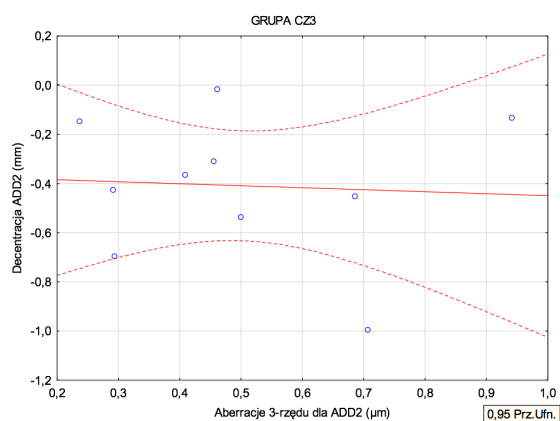
Korelacje pomiędzy aberracjami rogówki a decentracją soczewek



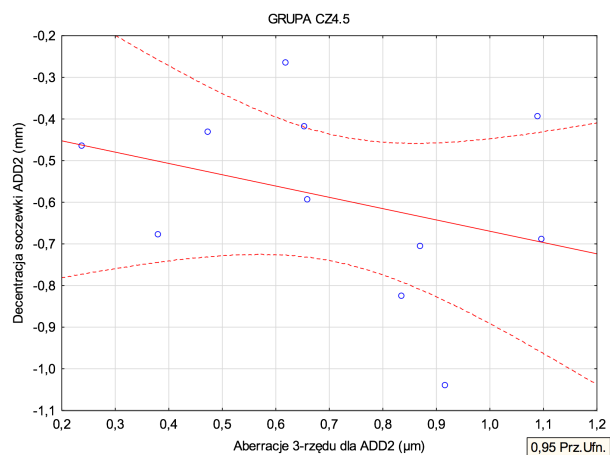
Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 2-rzędu dla ADD2 i CZ3 oraz decentracją soczewek.



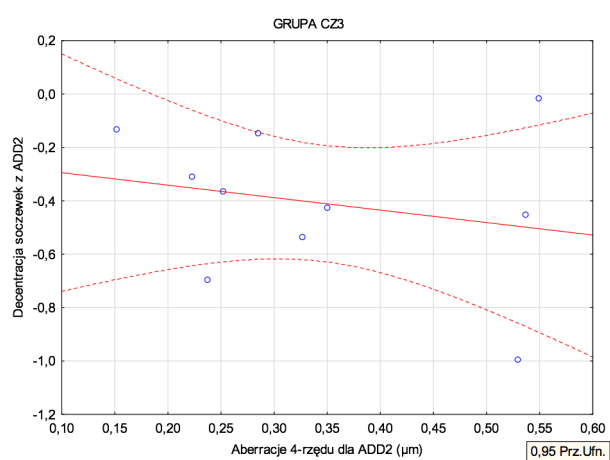
Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 2-rzędu dla ADD2 i CZ4.5 oraz decentracją soczewek.



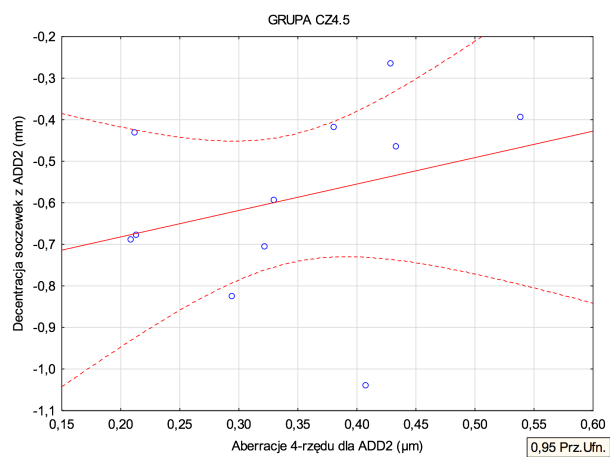
Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 3-rzędu dla ADD2 i CZ3 oraz decentracją soczewek.



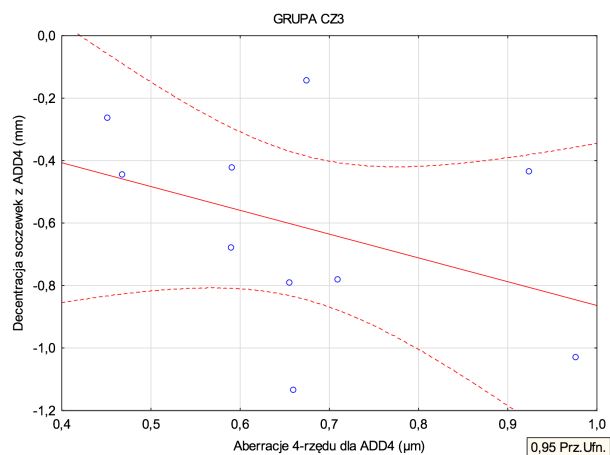
Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 3-rzędu dla ADD2 i CZ4.5 oraz decentracją soczewek.



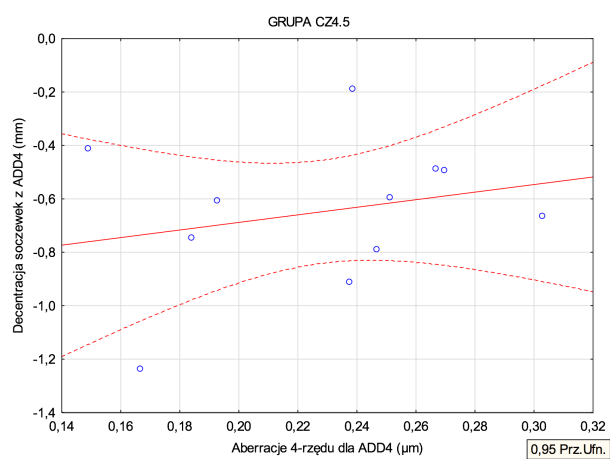
Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 4-rzędu dla ADD2 i CZ3 oraz decentracją soczewek.



Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 4-rzędu dla ADD2 i CZ4.5 oraz decentracją soczewek.



Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 4-rzędu dla ADD4 i CZ3 oraz decentracją soczewek.



Korelacja pomiędzy aberracjami rogówki 4-rzędu dla ADD4 i CZ4.5 oraz decentracją soczewek.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Resnikoff, S., et al., Myopia - A 21st Century Public Health Issue. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019. **60**(3): p. Mi-Mii.
2. Holden, B.A., et al., Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 2016. **123**(5): p. 1036-42.
3. Morgan, I.G., K. Ohno-Matsui, and S.M. Saw, *Myopia*. *Lancet*, 2012. **379**(9827): p. 1739-48.
4. Grzybowski, A., et al., A review on the epidemiology of myopia in school children worldwide. *BMC Ophthalmol*, 2020. **20**(1): p. 27.
5. Rudnicka, A.R., et al., Global variations and time trends in the prevalence of childhood myopia, a systematic review and quantitative meta-analysis: implications for aetiology and early prevention. *British Journal of Ophthalmology*, 2016. **100**(7): p. 882-890.
6. WHO, The Impact of Myopia and High Myopia. <WHO_Report_Myopia_2016.pdf>, 2016.
7. Optometry, W.C.o., *Resolution Calling for a Standard of Care for Myopia Management*, S.L. World Council of Optometry, Editor. 2021: <https://worldcouncilofoptometry.info/wp-content/uploads/2021/04/WCO-Standard-of-Care-Resolution-Adoption-News-Release-FINAL.pdf>.
8. Németh, J., et al., Update and guidance on management of myopia. European Society of Ophthalmology in cooperation with International Myopia Institute. *Eur J Ophthalmol*, 2021: p. 1120672121998960.
9. Bullimore, M.A. and N.A. Brennan, Myopia Control: Why Each Diopter Matters. *Optometry and Vision Science*, 2019. **96**(6): p. 463-465.
10. Flitcroft, D.I., The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology. *Prog Retin Eye Res*, 2012. **31**(6): p. 622-60.
11. Smith, E.L., 3rd, L.F. Hung, and B. Arumugam, Visual regulation of refractive development: insights from animal studies. *Eye (Lond)*, 2014. **28**(2): p. 180-8.
12. Gifford, K.L., et al., IMI - Clinical Management Guidelines Report. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019. **60**(3): p. M184-M203.
13. Zhu, Q., et al., Retardation of Myopia Progression by Multifocal Soft Contact Lenses. *Int J Med Sci*, 2019. **16**(2): p. 198-202.

14. Walline, J.J., et al., Effect of High Add Power, Medium Add Power, or Single-Vision Contact Lenses on Myopia Progression in Children : The BLINK Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 2020. **324**(6): p. 571-580.
15. Wolffsohn, J.S., et al., Global trends in myopia management attitudes and strategies in clinical practice. *Cont Lens Anterior Eye*, 2016. **39**(2): p. 106-16.
16. Efron, N., et al., International survey of contact lens fitting for myopia control in children. *Cont Lens Anterior Eye*, 2019.
17. Robboy, M.W., et al., Assessment of Clinical Trials for Devices Intended to Control Myopia Progression in Children. *Eye Contact Lens*, 2018. **44**(4): p. 212-219.
18. Li, Q. and F. Fang, Advances and challenges of soft contact lens design for myopia control. *Appl Opt*, 2019. **58**(7): p. 1639-1656.
19. Kollbaum, P.S., et al., Vision performance with a contact lens designed to slow myopia progression. *Optom Vis Sci*, 2013. **90**(3): p. 205-14.
20. Kang, P., C. McAlinden, and C.F. Wildsoet, Effects of multifocal soft contact lenses used to slow myopia progression on quality of vision in young adults. *Acta Ophthalmol*, 2017. **95**(1): p. e43-e53.
21. Flitcroft, D.I., et al., IMI – Defining and Classifying Myopia : A Proposed Set of Standards for Clinical and Epidemiologic Studies. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2019. **60**(3): p. M20-M30.
22. Ohno-Matsui, K., et al., *IMI Pathologic Myopia*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2021. **62**(5): p. 5-5.
23. FIELDER, A.R. and G.E. QUINN, Myopia of prematurity: nature, nurture, or disease? *British Journal of Ophthalmology*, 1997. **81**(1): p. 2-3.
24. Jong, M., et al., *IMI 2021 Yearly Digest*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021. **62**(5): p. 7.
25. Morgan, I.G., The biological basis of myopic refractive error. *Clin Exp Optom*, 2003. **86**(5): p. 276-88.
26. Klein, A.P., et al., Support for polygenic influences on ocular refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005. **46**(2): p. 442-6.
27. Ip, J.M., et al., Ethnic Differences in the Impact of Parental Myopia : Findings from a Population-Based Study of 12-Year-Old Australian Children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2007. **48**(6): p. 2520-2528.
28. Jones-Jordan, L.A., et al., Early childhood refractive error and parental history of myopia as predictors of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010. **51**(1): p. 115-21.

29. Jiang, X., et al., Association of Parental Myopia With Higher Risk of Myopia Among Multiethnic Children Before School Age. *JAMA Ophthalmology*, 2020. **138**(5): p. 501-509.
30. Luong, T.Q., et al., Racial and Ethnic Differences in Myopia Progression in a Large, Diverse Cohort of Pediatric Patients. *Investigative ophthalmology & visual science*, 2020. **61**(13): p. 20-20.
31. Morgan, I.G., et al., *IMI Risk Factors for Myopia*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2021. **62**(5): p. 3-3.
32. Mutti, D.O., et al., Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002. **43**(12): p. 3633-40.
33. Rose, K.A., et al., Outdoor Activity Reduces the Prevalence of Myopia in Children. *Ophthalmology*, 2008. **115**(8): p. 1279-1285.
34. Wu, P.C., et al., Myopia Prevention and Outdoor Light Intensity in a School-Based Cluster Randomized Trial. *Ophthalmology*, 2018. **125**(8): p. 1239-1250.
35. Williams, K.M., et al., Increasing Prevalence of Myopia in Europe and the Impact of Education. *Ophthalmology*, 2015. **122**(7): p. 1489-1497.
36. Fricke, T.R., et al., Global prevalence of visual impairment associated with myopic macular degeneration and temporal trends from 2000 through 2050 : systematic review, meta-analysis and modelling. *Br J Ophthalmol*, 2018. **102**(7): p. 855-862.
37. Donovan, L., et al., Myopia Progression Rates in Urban Children Wearing Single-Vision Spectacles. *Optometry and Vision Science*, 2012. **89**(1): p. 27-32.
38. Hu, Y., et al., Association of Age at Myopia Onset With Risk of High Myopia in Adulthood in a 12-Year Follow-up of a Chinese Cohort. *JAMA Ophthalmol*, 2020. **138**(11): p. 1129-1134.
39. Polling, J.R., C. Klaver, and J.W. Tideman, Myopia progression from wearing first glasses to adult age: the DREAM Study. *British Journal of Ophthalmology*, 2021: p. [bjophthalmol-2020-316234](https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316234).
40. Rotolo, M., G. Montani, and R. Martin, Myopia onset and role of peripheral refraction. *Clinical optometry*, 2017. **9**: p. 105-111.
41. Mutti, D.O., et al., Peripheral Refraction and Eye Lengths in Myopic Children in the Bifocal Lenses In Nearsighted Kids (BLINK) Study. *Transl Vis Sci Technol*, 2019. **8**(2): p. 17.

42. Troilo, D., et al., IMI – Report on Experimental Models of Emmetropization and Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2019. **60**(3): p. M31-M88.
43. Lin, Z., et al., Peripheral defocus with single-vision spectacle lenses in myopic children. *Optom Vis Sci*, 2010. **87**(1): p. 4-9.
44. Schippert, R. and F. Schaeffel, Peripheral defocus does not necessarily affect central refractive development. *Vision Research*, 2006. **46**(22): p. 3935-3940.
45. Atchison, D.A., et al., Relative Peripheral Hyperopia Does Not Predict Development and Progression of Myopia in Children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2015. **56**(10): p. 6162-6170.
46. Gwiazda, J., F. Thorn, and R. Held, Accommodation, accommodative convergence, and response AC/A ratios before and at the onset of myopia in children. *Optom Vis Sci*, 2005. **82**(4): p. 273-8.
47. Mutti, D.O., et al., Accommodative lag before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006. **47**(3): p. 837-46.
48. Mutti, D.O., et al., The Response AC/A Ratio Before and After the Onset of Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2017. **58**(3): p. 1594-1602.
49. Logan, N.S., et al., IMI Accommodation and Binocular Vision in Myopia Development and Progression. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2021. **62**(5): p. 4-4.
50. Jayabalan, G.S. and J.F. Bille, The Development of Adaptive Optics and Its Application in Ophthalmology, in *High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology: New Frontiers in Biomedical Optics*, J.F. Bille, Editor. 2019, Springer Copyright 2019, The Author(s). Cham (CH). p. 339-58.
51. Little, J.-A., et al., Higher Order Ocular Aberrations and Their Relation to Refractive Error and Ocular Biometry in Children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2014. **55**(8): p. 4791-4800.
52. Philip, K., et al., Influence of higher order aberrations and retinal image quality in myopisation of emmetropic eyes. *Vision Research*, 2014. **105**: p. 233-243.
53. Zhao, P.-F., et al., Effects of higher-order aberrations on contrast sensitivity in normal eyes of a large myopic population. *International journal of ophthalmology*, 2017. **10**(9): p. 1407-1411.
54. Lau, J.K., et al., Ocular higher-order aberrations and axial eye growth in young Hong Kong children. *Scientific Reports*, 2018. **8**(1): p. 6726.

55. Hughes, R.P., et al., Higher order aberrations, refractive error development and myopia control : a review. *Clin Exp Optom*, 2020. **103**(1): p. 68-85.
56. Hiraoka, T., et al., Influences of cycloplegia with topical atropine on ocular higher-order aberrations. *Ophthalmology*, 2013. **120**(1): p. 8-13.
57. Hiraoka, T., et al., Corneal higher-order aberrations induced by overnight orthokeratology. *Am J Ophthalmol*, 2005. **139**(3): p. 429-36.
58. Sun, Y., et al., Influence of Overnight Orthokeratology on Corneal Surface Shape and Optical Quality. *Journal of Ophthalmology*, 2017. **2017**: p. 3279821.
59. Frank Spors, D.J.E., Jie Shen, Lance E. McNaughton, Stuart Mann, Neil M. Patel, Corneal Wavefront Aberrations in Patients Wearing Multifocal Soft Contact Lenses for Myopia Control. *Open Journal of Ophthalmology*, 2012. **2**, 45-53.
60. Lau, J.K., et al., Higher-Order Aberrations and Axial Elongation in Myopic Children Treated With Orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020. **61**(2): p. 22.
61. Yam, J.C., et al., Two-Year Clinical Trial of the Low-Concentration Atropine for Myopia Progression (LAMP) Study : Phase 2 Report. *Ophthalmology*, 2020. **127**(7): p. 910-919.
62. Prousalis, E., et al., Efficacy and safety of interventions to control myopia progression in children : an overview of systematic reviews and meta-analyses. *BMC Ophthalmology*, 2019. **19**(1): p. 106.
63. Huang, J., et al., Efficacy Comparison of 16 Interventions for Myopia Control in Children : A Network Meta-analysis. *Ophthalmology*, 2016. **123**(4): p. 697-708.
64. Cheng, D., G.C. Woo, and K.L. Schmid, Bifocal lens control of myopic progression in children. *Clin Exp Optom*, 2011. **94**(1): p. 24-32.
65. Lam, C.S.Y., et al., Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression : a 2-year randomised clinical trial. *British Journal of Ophthalmology*, 2020. **104**(3): p. 363-368.
66. Li, S.M., et al., Efficacy, Safety and Acceptability of Orthokeratology on Slowing Axial Elongation in Myopic Children by Meta-Analysis. *Curr Eye Res*, 2016. **41**(5): p. 600-8.
67. Si, J.K., et al., Orthokeratology for myopia control : a meta-analysis. *Optom Vis Sci*, 2015. **92**(3): p. 252-7.
68. Li, F., et al., A Meta-analysis of Central Corneal Thickness Changes With Overnight Orthokeratology. *Eye Contact Lens*, 2016. **42**(2): p. 141-6.

69. Smith, E.L., 3rd, M.C. Campbell, and E. Irving, does peripheral retinal input explain the promising myopia control effects of corneal reshaping therapy (CRT or ortho-K) & multifocal soft contact lenses? *Ophthalmic Physiol Opt*, 2013. **33**(3): p. 379-84.
70. Wildsoet, C.F., et al., IMI - Interventions Myopia Institute : Interventions for Controlling Myopia Onset and Progression Report. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019. **60**(3): p. M106-M131.
71. Sankaridurg, P., Contact lenses to slow progression of myopia. *Clin Exp Optom*, 2017. **100**(5): p. 432-437.
72. Walline, J.J., Myopia Control: A Review. *Eye Contact Lens*, 2016. **42**(1): p. 3-8.
73. Benjamin, W., *Borish's Clinical Refraction*, ed. Butterworth-Heinemann. Vol. Second edition. 2006.
74. Pawel Nawrot, K.P.M., Anna Przekoracka-Krawczyk, does home-based vision therapy affect symptoms in young adults with convergence insufficiency? *Optica Applicata*, 2013. **43**(3): p. 551-566.
75. Przekoracka-Krawczyk, A., and Monika Wojtczak-Kwaśniewska, The Efficiency of Optometric Vision Therapy in Accommodative Esotropia With High AC/A Ratio. *OphthaTherapy*, 2018. **5**(3): p. 201-5.
76. Gong, C.R., D. Troilo, and K. Richdale, Accommodation and Phoria in Children Wearing Multifocal Contact Lenses. *Optom Vis Sci*, 2017. **94**(3): p. 353-360.
77. Remón, L., et al., Bifocal and Multifocal Contact Lenses for Presbyopia and Myopia Control. *Journal of Ophthalmology*, 2020. **2020**: p. 8067657.
78. G. Montani, P.B., Changes in relative peripheral refraction, HOAs and optical quality using a soft center distance multifocal contact lens with different additions and optical zones, in *International Myopia Conference*. 2017: Birmingham.
79. P. Blaser, I.S., *Power profiles of peripheral additions using topographers with soft contact lenses in myopia control*, in *Gobalinsight*. 2019, Contamac-globalinsight: <https://www.contamac-globalinsight.com/articles/power-profiles-topographers-soft-contact-lenses-myopia-control/2019>.
80. Schumacher, J.F., S.K. Thompson, and C.A. Olman, Contrast Response Functions for Single Gabor Patches: ROI-Based Analysis Over-Represents Low-Contrast Patches for GE BOLD. *Front Syst Neurosci*, 2011. **5**: p. 19.
81. Bach, G.K.G.B.d.P., Heterophoria and fixation disparity: A review. *Strabismus*, 2000. **Vol. 8**(No. 2): p. 127-134.

82. Brautaset, R.L. and J.A.M. Jennings, Associated phoria and the Measuring and Correcting Methodology after H.-J. Haase (MKH). *Strabismus*, 2001. **9**(3): p. 165-176.
83. Liat Gantz L, K.K., Einat Shneur, Yamit Levi, Sima Azulay, Dinah Paritzky, *Sensitivity of the Traditional vs. Paul Harris Randot Stereotests in Detecting Aniseikonic Stereoanomalies*, in *International Congress of Behavioural Optometry*. 2014, Department of Optometry and Vision Science, Hadassah Academic College: <http://www.ovpjournal.org/uploads/2/3/8/9/23898265/s.pdf>.
84. Barbero, S., et al., Validation of the estimation of corneal aberrations from videokeratography in keratoconus. *J Refract Surg*, 2002. **18**(3): p. 263-70.
85. Zeri, F., et al., Accuracy, inter-observer and intra-observer reliability in topography assessment of multifocal contact lens centration. *Cont Lens Anterior Eye*, 2020. **43**(5): p. 448-457.
86. Wu, Y.T., et al., The Effectiveness of Various Cleaning Regimens and Current Guidelines in Contact Lens Case Biofilm Removal. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2011. **52**(8): p. 5287-5292.
87. Holden, B., A report card on hydrogen peroxide for contact lens disinfection. *Clao j*, 1990. **16**(1 Suppl): p. S61-4.
88. Nichols, J.J., et al., The Case for Using Hydrogen Peroxide Contact Lens Care Solutions : A Review. *Eye Contact Lens*, 2019. **45**(2): p. 69-82.
89. Mangione, C.M., et al., Development of the 25-list-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. *Archives of Ophthalmology*, 2001. **119**(7): p. 1050-1058.
90. *The National Eye Institute Visual Function Questionnaire*. 2000, RAND Health Care: https://www.rand.org/content/dam/rand/www/external/health/surveys_tools/vfq/vfq25_manual.pdf.
91. Applegate, R.A., et al., Corneal aberrations and visual performance after radial keratotomy. *J Refract Surg*, 1998. **14**(4): p. 397-407.
92. Kropacz-Sobkowiak, S., et al., The influence of high addition soft multifocal contact lenses on visual performance. *Klinika Oczna / Acta Ophthalmologica Polonica*, 2020.
93. Schulle, K.L., et al., Visual Acuity and Over-refraction in Myopic Children Fitted with Soft Multifocal Contact Lenses. *Optom Vis Sci*, 2018. **95**(4): p. 292-298.
94. Martins, C., et al., Visual Performance and High-Order Aberrations with Different Contact Lens Prototypes with Potential for Myopia Control. *Current Eye Research*, 2019: p. 1-7.

95. Przekoracka, K., et al., Contrast sensitivity and visual acuity in subjects wearing multifocal contact lenses with high additions designed for myopia progression control. *Cont Lens Anterior Eye*, 2020. **43**(1): p. 33-39.
96. Fedtke, C., et al., Association between multifocal soft contact lens decentration and visual performance. *Clinical optometry*, 2016. **8**: p. 57-69.
97. Kang, P. and C.F. Wildsoet, Acute and short-term changes in visual function with multifocal soft contact lens wear in young adults. *Cont Lens Anterior Eye*, 2016. **39**(2): p. 133-40.
98. Chung, J., et al., Accommodative Lag, Facility and Phoria with Multifocal Contact Lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2013. **54**(15): p. 4251-4251.
99. Ruiz-Pomeda, A., et al., Binocular and accommodative function in the controlled randomized clinical trial MiSight(R) Assessment Study Spain (MASS). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019. **257**(1): p. 207-215.
100. Sha, J., et al., Visual performance of myopia control soft contact lenses in non-presbyopic myopes. *Clin Optom (Auckl)*, 2018. **10**: p. 75-86.
101. Sreenivasan, V., E.L. Irving, and W.R. Bobier, Effect of heterophoria type and myopia on accommodative and vergence responses during sustained near activity in children. *Vision Res*, 2012. **57**: p. 9-17.
102. Ferrer-Blasco, T. and D. Madrid-Costa, Stereoacuity with balanced presbyopic contact lenses. *Clinical and Experimental Optometry*, 2011. **94**(1): p. 76-81.
103. Sha, J., et al., Short-term visual performance of soft multifocal contact lenses for presbyopia. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 2016. **79**: p. 73-77.
104. Goss, D.A. and K.L. Wolter, Nearpoint phoria changes associated with the cessation of childhood myopia progression. *J Am Optom Assoc*, 1999. **70**(12): p. 764-8.
105. Sreenivasan, V., E.L. Irving, and W.R. Bobier, Can current models of accommodation and vergence predict accommodative behavior in myopic children? *Vision Res*, 2014. **101**: p. 51-61.
106. Zając, M., *Aberracje oka: ich pomiar i korekcja*. *Kontaktologia i Optyka Okulistyczna*, 2007(Nr 1): p. 18-28.
107. Suliman, A. and A. Rubin, A review of higher order aberrations of the human eye. 2019, 2019. **78**(1).

108. Cheng, X., et al., Soft Contact Lenses with Positive Spherical Aberration for Myopia Control. *Optom Vis Sci*, 2016. **93**(4): p. 353-66.
109. Wang, Y., et al., Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye. *J Refract Surg*, 2003. **19**(2 Suppl): p. S270-4.
110. Maguen, E., et al., Relationship between total aberrations (RMS) and pupil size in ametropic eyes with the LADARWAVE system. *Biomedical Optics 2004*. Vol. 5314. 2004: SPIE.
111. Ritzmann, M., et al., An analysis of anterior scleral shape and its role in the design and fitting of scleral contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye*, 2018. **41**(2): p. 205-213.
112. Fedtke, C., et al., Association between multifocal soft contact lens decentration and visual performance. *Clin Optom (Auckl)*, 2016. **8**: p. 57-69.
113. Fernandes, P.R., et al., Adaptation to multifocal and monovision contact lens correction. *Optom Vis Sci*, 2013. **90**(3): p. 228-35.
114. Fedtke, C., et al., Visual performance with multifocal soft contact lenses in non-presbyopic myopic eyes during an adaptation period. *Clin Optom (Auckl)*, 2016. **8**: p. 37-46.
115. Di Russo, F., et al., Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Hum Brain Mapp*, 2002. **15**(2): p. 95-111.
116. Di Russo, F., et al., Spatiotemporal brain mapping during preparation, perception, and action. *NeuroImage*, 2016. **126**: p. 1-14.
117. Zeri, F., et al., Immediate cortical adaptation in visual and non-visual areas functions induced by monovision. *J Physiol*, 2018. **596**(2): p. 253-266.
118. Gifford, P. and K.L. Gifford, The Future of Myopia Control Contact Lenses. *Optom Vis Sci*, 2016. **93**(4): p. 336-43.

11. SPIS TABEL

Tabela nr 1. Parametry topografii rogówki oraz ich odchylenia standardowe (SD) dla oka prawego oraz oka lewego w eksperymencie 1	22
Tabela nr 2. Parametry topografii rogówki oraz ich odchylenia standardowe (SD) dla oka prawego oraz oka lewego w eksperymencie 2	22
Tabela nr 3. Parametry soczewek kontaktowych zastosowanych w badaniu	23
Tabela nr 4. Średnie wartości zamazania, zerwania i odtworzenia dla zakresów konwergencji fuzyjnej mierzonych do dali (odległości 5 m) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4,5. BN- kierunek bazy prymat w kierunku nosa, BS-kierunek bazy prymatu w kierunku skroni, (BS)- błąd standardowy, PD- dioptrie pryzmatyczne	49
Tabela nr 5. Średnie wartości zamazania, zerwania i odtworzenia dla zakresów konwergencji fuzyjnej mierzonych do bliży (0.4 m) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4,5. BN- kierunek bazy prymatu w kierunku nosa, BS-kierunek bazy prymatu w kierunku skroni, (BS)- błąd standardowy, PD- dioptrie pryzmatyczne	49
Tabela nr 6. Wyniki pomiaru niedokładności fiksacji w bliży w minutach kątowych, mediana oraz minimum i maksimum dla ADD0, ADD2 i ADD4 w CZ3 i CZ4.5	53
Tabela nr 7. Liczba i procent osób badanych wykazujących brak równowagi stereoskopowej w teście równowagi MKH-Haase do dali	53
Tabela nr 8. Wyniki pomiaru stereopsji w bliży w sekundach kątowych, mediana, minimum i maksimum dla ADD0, ADD2 i ADD4 w CZ3 i CZ4.5	54
Tabela nr 9. Średnie zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie i odtworzenie) do dali i bliży dla ADD0 i ADD4 (PD), BS- błąd standardowy średniej	68
Tabela nr 10. Wyniki ankiety (liczba uzyskanych punktów) Visual Function Questionnaire (VFQ-39), mediana oraz minimum i maksimum dla ADD0 oraz ADD4.	75

12. SPIS RYCIN

Rycina nr 1. Schemat oka krótkowzrocznego, promienie światła równoległe do osi widzenia skupiają się przed siatkówką oka.	8
Rycina nr 2. Schemat oka krótkowzrocznego przed korekcją (A) i po korekcji jednoogniskowymi soczewkami okularowymi lub soczewkami kontaktowymi (B).	13
Rycina nr 3. Schemat konstrukcji soczewki kontaktowej dwuogniskowej z centrum do dali (A). Schemat budowy soczewki kontaktowej wieloogniskowej z centrum do dali (B).	17
Rycina nr 4. Wzór Gabora (z lewej), przykład prezentacji bodźców na ekranie (z prawej).	26
Rycina nr 5. Cel fiksacji przy pomiarze odpowiedzi akomodacji konsensualnej (z lewej) oraz fotografia stanowiska pomiarowego (z prawej).	27
Rycina nr 6. Test do badania niedokładności fiksacji.	29
Rycina nr 7. Test równowagi stereoskopowej MKH-Hasse [82]	30
Rycina nr 8. Mapa różnicowa tagencjalna dla rogówki bez soczewki oraz z założoną soczewką kontaktową z ADD4 i CZ3 na oku prawym. Punkt z zaznaczoną wartością różnicy promieni krzywizny rogówki (0.00 mm) został uznany za punkt centralny soczewki kontaktowej.	33
Rycina nr 9. Mapa tangencjalna dla rogówki bez soczewki kontaktowej (górny obrazek) oraz mapa rogówki z założoną soczewką kontaktową z ADD4 i CZ3 (dolny obrazek) dla oka prawego, koordynaty X i Y dla wyznaczonego punktu względem szczytu rogówki (widoczne w lewym dolnym rogu mapy).	33
Rycina nr 10. Schemat rozmieszczenia elektrod.	35
Rycina nr 11. Matryca liter- bodziec do pomiaru VEP	36
Rycina nr 12. VEP na elektrodach z grupy Fp, dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). pN1 - przedczołowy N1 (ang. prefrontal N1), fcP1 - czołowo-centralny P1 (ang. fronto-central P1).	71

-
- Rycina nr 13. VEP na elektrodach PO9, P7, P8 i FO10, dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). Okna czasowe z istotną statystycznie różnicą pomiędzy ADD zostały zaznaczone różowym prostokątem. 71
- Rycina nr 14. VEP na elektrodzie Oz dla ADD0 (zielona linia) i ADD4 (niebieska linia). Okna czasowe z istotną statystycznie różnicą pomiędzy ADD zostały zaznaczone różowym prostokątem. 72
- Rycina nr 15. Mapy LORETA aktywności mózgu VEP dla ADD0 i ADD4 w oknach czasowych 70-120 ms, 110-170 ms oraz 170-290 ms po bodźcu. 72
- Rycina nr 16. Mapy topograficzne VEP dla ADD0 w oknach czasowych 90-110 ms, 110-170 ms oraz 190-230 ms po bodźcu. 73
- Rycina nr 17. Mapy topograficzne VEP dla ADD4 w oknach czasowych 90-110 ms, 110-170 ms oraz 190-230 ms po bodźcu. 73

13. SPIS WYKRESÓW

- Wykres nr 1. Ostrości wzroku do dali w soczewkach z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach ze średnicą strefy centralnej CZ3 i CZ4.5. Prostokąty błędów przedstawiają odchylenie standardowe, wąsy przedstawiają błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 41
- Wykres nr 2. Ostrości wzroku do bliży w soczewkach z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach ze średnicą strefy centralnej CZ3 oraz CZ4.5. Prostokąty błędów przedstawiają odchylenie standardowe, wąsy przedstawiają błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 42
- Wykres nr 3. Pole powierzchni pod logarytmiczną funkcją wrażliwości na kontrast (AULCSF) dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4. Wąsy reprezentują błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 43
- Wykres nr 4. Sprawność akomodacji dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach CZ3 i CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 44
- Wykres 5. Ociąganie się akomodacji dla soczewek z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupach o średnicy strefy centralnej CZ3 i CZ4.5, dla bodźca do akomodacji 1D oraz 2.5 D. Wąsy oznaczają błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 45
- Wykres nr 6. Nachylenie funkcji liniowej odpowiedzi akomodacji dla krzywej teoretycznej, ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. 46
- Wykres nr 7. Nachylenie liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji w ADD0, ADD2 i ADD4 dla grupy CZ3 i CZ4.5. Wąsy oznaczają błąd standardowy średniej. Źródło [92]. 47
- Wykres nr 8. A Foria do dali w dwóch grupach (CZ3 i CZ4.5) dla ADD0, ADD2 i ADD4. prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. B- Foria do bliży w grupach (CZ3 i CZ4.5) dla ADD0, ADD2 i ADD4. Prostokąty reprezentują błąd standardowy, a wąsy odchylenie standardowe. 48
- Wykres nr 9. A. Zakresy wergencji fuzyjnej do dali w kierunku BN dla ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. B - Zakresy wergencji fuzyjnej do bliży w kierunku BN (PD) dla ADD0, ADD2, ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy. 50

- Wykres nr 10. A. Zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) do dali w kierunku BS dla ADD0, ADD2, i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. B - Zakresy wergencji fuzyjnej (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) do bliży w kierunku BS (PD) dla ADD0, ADD2, i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5. Wąsy reprezentują błąd standardowy. 51
- Wykres nr 11. Sprawność wergencji do bliży dla ADD0, ADD2 i ADD4 w dwóch grupach (CZ3 oraz CZ4.5). Prostokąty reprezentują błąd standardowy, a wąsy odchylenie standardowe. 52
- Wykres nr 12. Współczynniki Zernikego całkowitych aberracji rogówki dla ADD0, ADD2 oraz ADD4, w grupie CZ3 i CZ4.5. Wąsy określają błąd standardowy średniej. 55
- Wykres nr 13. RMS aberracji 2. rzędu (astygmatyzm) zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) oraz w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy a wąsy odchylenie standardowe średniej. 56
- Wykres nr 14. RMS aberracji 3. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) i w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej. 57
- Wykres nr 15. RMS aberracji 4. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS) i w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej. 58
- Wykres nr 16. RMS aberracji 5. rzędu zmierzonymi bez soczewek kontaktowych (BS), w soczewkach kontaktowych z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 i CZ4.5. Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej. 59
- Wykres nr 17. Decentracja soczewek kontaktowych (mm) z ADD0, ADD2 i ADD4 w grupie CZ3 oraz CZ4.5 w kierunku poziomym (X) oraz pionowym (Y). Prostokąty oznaczają błąd standardowy, wąsy odchylenie standardowe średniej. 60
- Wykres nr 18. Ostrości wzroku do dali LogMAR dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 63

- Wykres nr 19. Ostrości wzroku do bliży LogMAR dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 63
- Wykres nr 20. Pole powierzchni pod krzywą logarytmicznej funkcji wrażliwości na kontrast (AULCSF) dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 64
- Wykres nr 21. Ociążanie się akomodacji dla ADD0 i ADD4, wąsy oznaczają błąd standardowy średniej. 65
- Wykres nr 22. Nachylenia krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji dla wartości teoretycznej, ADD0 i ADD4 65
- Wykres nr 23. Nachylenie krzywej liniowej funkcji odpowiedzi akomodacji dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej. 66
- Wykres nr 24. Foria do dali (A) oraz bliży (B) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej. 67
- Wykres nr 25. Stereopsja do bliży (sekundy kątowe) dla ADD0 i ADD4, prostokąt oznacza 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 67
- Wykres nr 26. Zakresy wergencji do dali (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) w kierunku BN i BS (PD) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej. 69
- Wykres nr 27. Zakresy wergencji do bliży (zamazanie, zerwanie, odtworzenie) w kierunku BN i BS (PD) dla ADD0 i ADD4, prostokąty oznaczają błąd standardowy średniej, wąsy odchylenie standardowe średniej. 70
- Wykres nr 28. Funkcjonowanie społeczne związane z jakością widzenia w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 oraz ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 76
- Wykres nr 29. Ogólna jakość widzenia w ankiecie VFQ-39 ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 77

Wykres nr 30. Aktywności związane z widzeniem do dali w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 77

Wykres nr 31. Widzenia peryferyjne w ankiecie VFQ-39 dla ADD0 i ADD4, wartości oznaczają medianę, prostokąty 25 i 75 percentyl, wąsy minimum i maksimum. 78