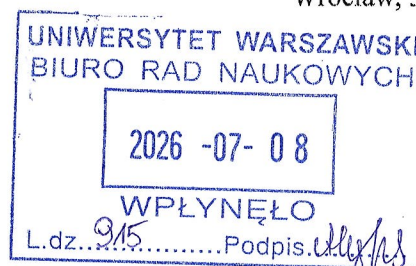


Wrocław, 30.06.2026.

dr hab. inż. Dorota Szczęsna-Iskander, prof. ucz.
Katedra Optyki i Fotoniki
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Sulińskiego

p.t. “Badanie interakcji lipidów z powierzchnią

i matrycą silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych”

zrealizowanej pod kierunkiem

dra hab. Jacka Pniewskiego, prof. ucz.

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. oraz na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego dra hab. Jacka Szczytko, prof. ucz.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. Tomasza Sulińskiego przygotowana została w języku polskim, ma objętość 169 stron, a jej zasadnicza część składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów i bibliografii. Zamieszczono również wymagane oświadczenia, streszczenia w języku polskim i angielskim, listę najważniejszych skrótów, artykułów opublikowanych i wysłanych do recenzji, rysunków oraz tabel.

W początkowej części pracy Kandydat zamieścił swój aktualny dorobek naukowy obejmujący dwa artykuły w recenzowanych czasopismach naukowych; jeden w *Journal of Biomaterials Science. Polymer Edition* z IF 3,8 i 70-punktami wg wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych Ministra Nauki z dnia 5 stycznia 2024 r., drugi artykuł w czasopiśmie *Vision* z IF 1,8 niewystępujący w/w wykazie. Ponadto, kandydat ma w swoim dorobku cztery artykuły w *OphthaTherapy* również znajdującym się w ww. wykazie oraz jeden artykuł w branżowym czasopiśmie *Optyka*. W wykazanej liście publikacji znajdują się też trzy prace, które zostały złożone do publikacji, ale do czerwca 2026r. nie zostały opublikowane.

Pracę doktorską rozpoczyna Wprowadzenie, które w sposób zwięzły wprowadza czytelnika w problematykę podjętego w pracy tematu. Doktorant przedstawia motywację podjętego problemu badawczego opierając ją częściowo na ankiecie przeprowadzonej wśród optometrystów – kontaktologów (ECP). Zadeklarowane główne cele pracy w dalszej części wprowadzenia są uszczegółowione i przedstawione są trzy główne hipotezy badawcze. Zarówno hipotezy, jak i szczegółowe cele są przejrzyste i podkreślona jest w nich waga każdego z podjętych problemów badawczych.

W rozdziale pierwszym – Wstęp – zawarto opis podstawowych pojęć i zagadnień związanych z tematyką pracy. Wstęp obejmuje najważniejsze dla tematu pracy zagadnienia, czyli budowę przedniego odcinka oka, materiały soczewek kontaktowych i ich interakcję z powierzchnią oka i filmem łzowym. Informacje poparte są wyczerpującą literaturą i podane w sposób zwięzły, często w punktach. Najwięcej uwagi poświęcono części dotyczącej struktury warstwy lipidowej filmu łzowego oraz przeglądu badań osadów lipidowych na i wewnątrz soczewek kontaktowych, co jest słuszne z uwagi na podjęty temat. Przegląd piśmiennictwa dotyczący

badan nad interakcją lipidów z soczewkami kontaktowymi został przygotowany chronologicznie, obszernie i wnikliwie. Doktorant wykazuje bardzo dobrą znajomość tematu, prezentuje aktualny stan wiedzy, powołuje się na aktualne źródła i wyniki badań naukowych. Kandydat podsumował zastosowane do tej pory metody pomiarowe i ich wykorzystanie w badaniu soczewek w osobnym podrozdziale, co jest pomocne w zrozumieniu kierunku badań w tej dziedzinie. Analiza dotychczasowych badań zakończona jest wymienieniem i krótkim opisem sześciu luk badawczych, które, w opinii Doktoranta, stanowią podstawę do określenia celów niniejszej pracy doktorskiej i zaplanowania badań eksperymentalnych.

W rozdziałach II, III i IV doktorant opisał pięć przeprowadzonych eksperymentów, dzieląc je na trzy sekcje. W pierwszej użyto mikroskop konfokalny, w drugiej przeprowadzono pomiary grubości warstwy lipidowej filmu łożowego (LLT) na soczewkach kontaktowych *in vivo*, a w trzeciej zastosowano inkubator zaprojektowany i zbudowany w ramach niniejszej pracy doktorskiej. Jest to najważniejsza część pracy doktorskiej opisująca przeprowadzone badania prowadzące do zweryfikowania postawionych hipotez i realizacji celów badawczych. Każdy z eksperymentów został opisany jak osobna publikacja zawierająca krótkie nakreślenie problemu, opis metodologii, wyniki wraz z ich dyskusją i wnioski cząstkowe. Materiały soczewek użyte do eksperymentów różnią się nieznacznie między sobą, stąd zrozumiałe jest, że doktorant zamieścił krótką charakterystykę użytych soczewek kontaktowych przed każdym eksperymentem, mimo, że niektóre z nich się powtarzają.

Poniżej odniosę się do każdego z przeprowadzonych badań oraz do głównych i cząstkowych hipotez badawczych komentując przedstawioną w pracy metodologię pomiarową i analizy rejestrowanych obrazów oraz otrzymane wyniki i wyciągnięte z nich wnioski.

Trzy pierwsze eksperymenty dotyczą **pierwszej hipotezy badawczej**, która brzmi: *Fluorescencyjna mikroskopia konfokalna, pozwala na rejestrację momentu inicjacji adsorpcji lipidów na powierzchni soczewki silikonowo-hydrożelowej (Si-Hy) oraz śledzenie ich penetracji do wnętrza materiału w czasie rzeczywistym, co umożliwia identyfikację różnic w mechanizmie osadzania się lipidów pomiędzy różnymi rodzajami materiałów Si-Hy*. Część eksperymentalna jest poprzedzona wnikliwym i wyczerpującym wprowadzeniem teoretycznym do mikroskopii konfokalnej. Doktorant pokazuje, że zapoznał się z metodą pomiarową, zna jej fizyczne podstawy oraz rozumie niuanse techniczne i ograniczenia aparaturowe. Omawia tryby obrazowania konfokalnego, które wykorzystał w badaniach eksperymentalnych, tj. obrazowanie odbicia i fluorescencji.

Badanie interakcji lipidów z soczewkami silikonowo hydrożelowymi rozpoczyna badanie charakterystyki odbicia światła na powierzchni soczewek. Jest to badanie bazowe, które, jak deklaruje Doktorant, ma służyć ustaleniu warunków dalszych pomiarów. W **eksperymentcie I** pokazano, że mikroskopia konfokalna w trybie odbiciowym ma potencjał w zastosowaniu jej do obrazowania przekrojów soczewek kontaktowych i analizy właściwości odbiciowych z powierzchni soczewek. Doktorant zobrazował pięć soczewek i pokazał, że soczewki z modyfikacją powierzchni wyróżniają się innym sygnałem odbicia w porównaniu do soczewek bez modyfikacji. Doktorant próbował doszukać się korelacji zmierzonego sygnału odbicia światła z modulem sztywności soczewek, zawartością wody i współczynnikiem załamania podawanym przez producentów, ale, jak słusznie stwierdza, pojedynczy pomiar każdej soczewki oraz mała liczba różnych soczewek uniemożliwiają wyciągnięcie jednoznacznych wniosków a obserwacje mają jedynie charakter opisowy.

Uwagi merytoryczne:

- Doktorant wskazuje na wykorzystanie bibuły do usunięcia nadmiaru płynu z powierzchni soczewki, ale w dysertacji zabrakło podania szczegółów tego kroku. Proces osuszania soczewki (tzw. *blotting*) jest tu bardzo ważny, aby po pierwsze nie zmienić powierzchni soczewki, a po drugie przeprowadzić go powtarzalnie dla każdej soczewki. W jaki sposób było to kontrolowane? Jaką bibułę użyto? Jest to czynnik obciążony słabą powtarzalnością, a biorąc pod uwagę wysoką czułość mikroskopii konfokalnej, mógł mieć wpływ na wyniki obserwacji.

- W omówieniu pomiarów mikroskopowych opisane jest ilościowe podejście do analizy sygnału odbicia i przedstawione podstawy fizyczne oparte na równaniach Fresnela. Opis ten jest jednak niepełny, tj. brakuje podania apertury numerycznej (NA) użytego obiektywu. Przyjęcie uproszczonego wzoru Fresnela dla padania prostopadłego ($<3^\circ$) jest metodologicznie nieuzasadnione bez wykazania, że użyty obiektyw charakteryzował się na tyle niskim NA, iż kąty padania promieni brzeżnych nie wpływały istotnie na zmianę

współczynnika odbicia R . Doktorant sam pisze w rozdziale 1.2.3. o znaczeniu NA obiektywu. Dane użytego obiektywu wymagają więc uzupełnienia.

- Wykazanie nieistotności błędu pochylenia próbki nie zwalnia Autora z konieczności wprowadzenia korekty błędu wynikającego z niedopasowania współczynników załamania światła. Na granicy PBS (buforowana sól fizjologiczna) – soczewka następuje zmiana współczynnika załamania światła, co zniekształca geometryczny wymiar osi Z . Stopień zniekształcenia osi Z jest inny dla każdego typu soczewki. Bez wprowadzenia precyzyjnej korekty optycznej lub matematycznej dla każdego materiału indywidualnie, rejestrowane różnice w intensywności odbicia mogą nie wynikać z rzeczywistych cech strukturalnych polimeru, lecz są obarczone szumem, zmiennym w zależności od stopnia niedopasowania n danej próbki. Zabrakło informacji jak problem tego zjawiska został rozwiązany.

- Doktorant słusznie przyznaje, że „*sygnał odbity od wewnętrznych powierzchni soczewek jest słabszy niż od powierzchni zewnętrznych, co wynika z częściowej absorpcji i rozpraszania światła w materiale soczewki.*” Jednak we wzorze na R_s , który wyprowadza, pomija ten czynnik. Światło przechodzi przez soczewkę dwukrotnie, więc tłumienie materiału powinno być kluczową zmienną w tym równaniu. Jej pominięcie wymaga wyjaśnienia.

Uwagi szczegółowe:

- Wyniki zostały zaprezentowane na wykresach słupkowych i punktowych. Doktorant mógł wybrać jedną z tych prezentacji, ponieważ wykresy a) i b) na rysunkach od 23 do 25 i dodatkowo 19 różnią się jedynie graficznym zilustrowaniem tej samej informacji.
- Jaki rodzaj szkła użyto? Mam wątpliwości, czy na pewno zastosowano szklane naczynko o grubości 1,5 mm? W mikroskopii konfokalnej w konfiguracji odwróconej standardem jest stosowanie szkła nakrywkowego No. 1.5, które ma grubość 0,17 mm.
- Rozdzielczość osiowa mikroskopu 83 nm jest ekstremalnie wysoka. Czy doktorant na pewno ma na myśli rozdzielczość osiową mikroskopu, czy raczej wielkość kroku stolika mikroskopu?

Pomimo ww. niewyjaśnionych założeń, zaprezentowane wyniki zgadzają się z logiką, która każe przypuszczać, że soczewka z powłoką plazmową i niskim uwodnieniem da mocny sygnał odbicia, a soczewka z gradientem wodnym na powierzchni ma współczynnik załamania światła niemal identyczny z PBS, dlatego odbicie jest minimalne. Doktorant jest świadomy ograniczeń eksperymentu i słusznie podkreśla we wnioskach, że wyniki, mają charakter wstępny, wskazujący na potencjał metody pomiarowej. Doprecyzowania wymaga jednak wniosek o tym, że mikroskopia konfokalna w trybie odbiciowym może być narzędziem do identyfikacji lokalizacji miejsc pojawiania się depozytów lipidowych na powierzchni soczewki. Sformułowana konkluzja wymaga walidacji w postaci wyników eksperymentalnych lub stosownego wywodu teoretycznego. Opis pierwszego eksperymentu zakończony jest podsumowaniem uzasadniającym jego rolę w przygotowaniu drugiego eksperymentu, którym jest analiza osadów i dyfuzji cholesterolu w soczewkach kontaktowych silikonowo hydrożelowych (Si-Hy) z wykorzystaniem fluorescencyjnej mikroskopii konfokalnej.

W **eksperymentcie II** użyto cztery z pięciu wcześniej mierzonych soczewek. Doktorant postawił za cel analizę procesów osadzania i dyfuzji cholesterolu w soczewkach kontaktowych Si-Hy, jednak we wnioskach słusznie stwierdza, że statyczna natura pomiarów uniemożliwiła ocenę śledzenie dynamiki tworzenia się aglomeratów lipidowych w kontakcie z soczewką.

Soczewki były inkubowane w roztworze buforu fosforanowego z cholesterolem znakowanym fluorescencyjnie nitrobenzoksadiazolem (NBD) w temperaturze pokojowej. Mikroskop konfokalny został tu użyty do zobrazowania penetracji fluorescencyjnie znakowanego lipidu przez materiał soczewki oraz jego obecności na powierzchni po 24h inkubacji. Doktorant zebrał niezbędne dane techniczne użytego mikroskopu konfokalnego Leica TCS SP8 w czytelnej tabeli, a poglądowe rysunki umieszczenia soczewki w układzie pomiarowym (zarówno w tym, jak i w poprzednim eksperymencie) wraz z wyczerpującym podpisem stanowią pomocną ilustrację opisu eksperymentu. Opis otrzymanych wyników jest jakościowy i dotyczy jednorazowo zbadanych soczewek, dlatego wyniki należy traktować jako wstępne, a wnioski jako przypuszczenia, które doktorant potrafi uzasadnić odwołując się do literatury.

Uwagi merytoryczne:

- Jakie były kryteria wyboru czterech materiałów soczewek w świetle poprzedniego eksperymentu? Przyjęto hipotezę o związku zastosowanych modyfikacji powierzchniowych w soczewkach z osadzaniem i przenikaniem cholesterolu do materiału, a tylko jedna z czterech wybranych soczewek ma modyfikowaną powierzchnię. Materiału Lehigh A z modyfikacją powierzchni, użytego i wyróżniającego się w poprzednim badaniu, tutaj nie włączono. Dlaczego?

- Głębszego wyjaśnienia wymaga użycie dimetylosulfotlenku (DMSO), który, jako silnie polarny rozpuszczalnik, może wnikać w materiały polimerowe i powodować ich pęcznienie lub degradację, co w następstwie wpłynie na wyniki pomiarowe. Użyte stężenie jest niskie, więc wpływ jest najprawdopodobniej zaniedbywalny, ale w pracy doktorskiej należy to wprost zadeklarować, powołując się na literaturę wykazującą brak wpływu użytych ilości DMSO na strukturę Si-Hy. W publikacji 218 (Lorenz et al.), na którą powołuje się w tym miejscu doktorant, nie użyto dimetylosulfotlenku.

- Doktorant słusznie zwraca uwagę na efekt autofluorescencji polimerów soczewek, stwierdza, że tego efektu nie zaobserwowano, ale zaskakująco powołuje się w tym miejscu do wcześniejszej pracy tego samego zespołu, w którym użyto mikroskop sił atomowych (praca 266) a nie mikroskop konfokalny, a własnych obrazów kontrolnego eksperymentu nie pokazuje.

- Doktorant jest świadomy licznych ograniczeń tego eksperymentu, które wymienia i słusznie uzasadnia w podrozdziale 3.3. Dodatkowym ograniczeniem jest, wspomniane w dyskusji, brak kontroli przylegania soczewki do dna płytki i ewentualna możliwość jej ruchu podczas obrazowania oraz wpływ grubości soczewek na intensywność sygnału. Obiektów o powiększeniu 63x ma bardzo krótką odległość roboczą, więc stabilizacja soczewki, by nie pływała w trakcie 58 skanów, jest kluczowa. Z tych powodów wskazane byłoby powtórzenie eksperymentu na tych samych materiałach w celu weryfikacji zaobserwowanych trendów. Na tej podstawie uważam za zbyt pochopne stwierdzenie, że to „*badanie dostarcza istotnych danych bazowych*”, skoro jest tylko jednorazową obserwacją.

Zarówno dyskusja wyników, jak i krytyczna analiza ograniczeń eksperymentu świadczą o dojrzałym warsztacie naukowym Autora oraz zrozumieniu badanej problematyki. Doktorant sprawnie konfrontuje własne obserwacje z danymi literaturowymi i potrafi zinterpretować badane zjawiska. Szczegółowa hipoteza, postawiona przed eksperymentem, została udowodniona, tj.: dla pojedynczych różnych materiałów soczewek pokazano różne osadzanie się na powierzchni i różne przenikanie cholesterolu. Ta część pracy zakończona jest zaproponowaniem modyfikacji eksperymentu w celu śledzenia dynamiki tworzenia się aglomeratów lipidowych na soczewkach.

Eksperyment III jest rozwinięciem powyższego. Zbadanie procesów osadzania i dyfuzji cholesterolu w soczewkach Si-Hy umożliwiło zastosowanie wirującego dysku Yokogawy. Ten eksperyment jest ogromnym krokiem naprzód, w porównaniu do poprzedniego układu statycznego, w kierunku potwierdzenia hipotezy I. Ponownie opisana metoda pomiarowa ma charakter wstępnych obserwacji i pokazania możliwości mikroskopii konfokalnej w obrazowaniu dynamiki interakcji soczewka – lipidy. Zamieszczone zostały przykłady możliwych sposobów zilustrowania tworzących się agregatów lipidowych i analizy intensywności fluorescencji pochodzącej ze znaczonego cholesterolu. Doktorant jest świadomy ograniczeń zastosowania prostego roztworu pozbawionego innych komponentów typowych dla filmu lipidowego w interakcji cholesterolu z polimerem soczewki i, tak jak w poprzednim eksperymencie, przeprowadza na ten temat szczerą dyskusję. Należy podkreślić, że protokół podawania kropli z NBD-CHL w trakcie trwania pomiaru (aplikacja *in situ*) oraz zastosowanie mikroskopii konfokalnej z wirującym dyskiem Yokogawy jest nowatorskim rozwiązaniem w badaniu fizykochemii polimerów soczewek.

Uwaga merytoryczna: Analizowano profil intensywności fluorescencji aglomeratu lipidów wzdłuż jego centrum. Pomiarów wykonano w różnych czasach od początku adhezji, więc w celu porównania wyników dla różnych soczewek założono liniowy model dyfuzji i przeliczono głębokość aglomeratu dla wybranego czasu 240 s. Na podstawie wyników zamieszczonych w tab. 13, Doktorant wyciągnął wniosek, że założenie prostego liniowego modelu nie było właściwe. Ta część eksperymentu wymaga więcej wyjaśnień i uzasadnień. Nie wyjaśniono podstaw założenia liniowego charakteru transportu lipidów do wnętrza soczewek Si-Hy. Co było wyznacznikiem wyboru czasu pomiaru profilu aglomeratu dla danej soczewki? Dlaczego wybrano czas 240 s? Moje rozumienie eksperymentu jest następujące: skoro mikroskop pozwala na rejestrację klatek co

3 i 1/3 sekundy w sposób ciągły przez 15 minut, to dla czego profili nie odczytano dla każdej soczewki w 240. sekundzie od momentu adhezji (tadh)? Mikroskop rejestrował dane cały czas. Doktorant miał techniczną możliwość wybrać z osi czasu klatkę odpowiadającą czasowi około 240 s dla każdego klastra.

Uwaga szczegółowa: Oś na rysunku 33 powinny być podpisane.

We wnioskach kończących serię eksperymentów opisanych w rozdziale II Doktorant bezpośrednio odnosi się do hipotezy I dysertacji i szczerze stwierdza, że wyniki częściowo ją wspierają. Doktorant słusznie wnioskuje, że na tym etapie metoda pozwala na jakościowe obserwacje, ale nie na identyfikację różnic pomiędzy materiałami soczewek Si-Hy. Przeprowadzone badania mają charakter pionierski. Doktorant dojrzałe prowadzi dyskusję wyników każdego z trzech eksperymentów i wykazuje, że rozumie kliniczny kontekst przeprowadzonych badań.

Rozdział III i Eksperyment IV: Poza pomiarami *in vitro* doktorant przeprowadził również pomiary *in vivo* wykorzystując opisywane wcześniej soczewki kontaktowe. Pomiar LLT przed i po założeniu czterech różnych soczewek kontaktowych w trzech punktach czasowych: po 1, 3 i 5 minutach wykonano za pomocą komercyjnie dostępnego urządzenia IDRA. Zasada pomiaru LLT została omówiona w rozdziale Wstęp, gdzie doktorant uzasadnił wybór metody pomiarowej wykazując się wysokim poziomem zrozumienia tematu oraz znajomością metody pomiarowej. Na szczególne uznanie zasługuje część, w której doktorant wyraźnie zaznacza, że interferometria światła białego warstwy lipidowej nie mierzy fizycznej geometrycznej grubości, lecz jest pośrednią estymacją. To kluczowe rozróżnienie, świadczy o zrozumieniu ograniczeń zastosowanej aparatury pomiarowej.

Przebieg eksperymentu, rejestracji wyników oraz grupa badawcza zostały klarownie wyjaśnione i opisane. Wyniki pomiaru LLT zostały zaprezentowane na właściwych wykresach oraz w przejrzystych tabelach. Rozdział kończy się przeprowadzoną wnikliwą i krytyczną dyskusją oraz celnymi wnioskami.

Uwagi merytoryczne:

- Na początku tego rozdziału zadeklarowane są dwa cele: określenie czy aplikacja soczewek Si-Hy powoduje zmianę LLT oraz czy efekt ten zależy od właściwości materiałowych soczewek. Wybrane punkty czasowe odczytywania wyniku LLT są właściwe do zrealizowania celu pierwszego – zbadano LLT w krótkim czasie po aplikacji soczewek, ale nieuzasadnione w odniesieniu do celu drugiego. Doktorant z jednej strony zwraca uwagę na wiele czynników wpływających na możliwe niestabilne zachowanie warstwy lipidowej, tj. odruchowe łzawienie, zmieniona częstość mrugania, początkowy dyskomfort, stabilizowanie się soczewki na oku, które mogą maskować efekt materiału, ale mimo to przeprowadza pomiar po czasie maksymalnie 5 minut, który jest dwukrotnie krótszym niż zalecenia BCLA (British Contact Lens Association) odnoszące się do przeprowadzania oceny dopasowania soczewek miękkich. To podstawowe ograniczenie protokołu badawczego jest dyskutowane przez doktoranta i odpowiednio skomentowane, ale brakuje bezpośredniego odniesienia się do postawionej hipotezy, której przyjęcie/odrzućenie było częściowo niemożliwe w przyjętym protokole badawczym.

- W tabelach 15-17 wynik LLT podano z dokładnością do 0,1 nm, podczas gdy urządzenie podaje LLT z rozdzielczością do 1 nm. Liczba cyfr znaczących w końcowym wyniku powinna być dostosowana do możliwości pomiarowych aparatury, dlatego ten zapis wymaga skorygowania.

- Celowość tabeli 18 jest niezrozumiała. Tabela ma przedstawiać współczynnik korelacji między różnicą w LLT a czasem od założenia soczewki dla każdego uczestnika. Dla ilu punktów wyznaczano te korelacje? W wielu przypadkach współczynnik korelacji jest bardzo niski, a bez podania N (liczby punktów pomiarowych) nie jest wiadomo, czy uzasadnione jest mówienie o jakiegokolwiek korelacji. Dlatego nie mogę ustosunkować się do wniosku o pokazaniu w analizie czasowej materiało-zależnych różnic. Wyniki zamieszczone w tabeli 13 wymagają szerszego wyjaśnienia. Przykładowo, w przypadku soczewki B liczba prób, wymagana do ustalenia, czy współczynnik korelacji różni się od zera, wynosi od $N=16$ (pacjent 18 z najwyższym $r=0.620$) do $N=225$ (pacjent 10 z najniższym $r=0.186$). Polecam zapoznanie się z wytycznymi w publikacji: Hulley SB, Cummings SR, Browner WS, Grady D, Newman TB. Designing clinical research: an epidemiologic approach. Lippincott Williams & Wilkins; 2013.

- W dyskusji znajduje się stwierdzenie, że opisane pomiary „mogą dostarczyć cennych informacji na temat dynamiki powierzchni oka”, a przecież badano wyłącznie LLT. Doktorant wyciąga zbyt ogólny wniosek z przeprowadzonych pomiarów.

Podsumowując, **hipoteza II**: „Założenie soczewek Si-Hy powoduje statystycznie istotne zmiany grubości warstwy lipidowej filmu łzowego (...) w porównaniu do wartości wyjściowych, a skala tego efektu zależy od właściwości materiałowych soczewek” została częściowo wsparta wynikami. W konkluzjach tego rozdziału Doktorant wyjaśnia przyczyny uniemożliwiające weryfikację drugiej części hipotezy. Postawa ta świadczy o dojrzałej krytyce własnych badań i zdolności do obiektywnej autokorekty, co jest cenną cechą naukowca.

Rozdział IV zawiera opis, w mojej opinii, najciekawszego i najbardziej wartościowego naukowo eksperymentu, ponieważ zastosowano inkubację soczewek w warunkach zbliżonych do fizjologicznych zarówno pod względem bardziej złożonego składu sztucznego płynu łzowego (ATS), jak i temperatury inkubacji i odtworzenia warunków noszenia soczewki. Eksperyment ten jest związany z **hipotezą III**: „Obecność osadów lipidowych na soczewkach Si-Hy prowadzi do istotnego zmniejszenia równowagowej zawartości wody (z ang. *Equilibrium Water Content*) EWC w materiale.” Rozdział zawiera wyczerpujący i klarowny opis składu ATS, autorskiego inkubatora oraz pomiaru termogravimetrycznego. Pomiary wykonano na soczewkach z dwóch różnych materiałów po osiem sztuk, a wyniki zawartości wody w soczewkach wyjętych z blistra, inkubowanych w soli fizjologicznej oraz ATS z i bez lipidów zaprezentowano na adekwatnych wykresach pudełkowych.

Uwagi merytoryczne:

- Przeprowadzono kompletny eksperyment z badaniami kontrolnymi, podano wszystkie ważne szczegóły pozwalające na odtworzenie eksperymentu, zaproponowano interesujący pomysł na inkubator soczewek oraz statystycznie opracowano wyniki pomiarowe. Wnioski z tego badania słusznie podkreślają udowodnienie hipotezy III. Kończą się ciekawymi pomysłami na przyszłe badania. Na pochwałę zasługują również liczne fotografie zbudowanego inkubatora.

- Zdanie: „wyższa zawartość wody generalnie koreluje ze zwiększoną absorpcją lipidów ze względu na hydrofilowy charakter matrycy polimerowej, która może przyciągać i wiązać większe ilości lipidów” jest nieprawdziwe, a odniesienie się do publikacji Green et al., którzy skupili się na badaniu wchłaniania środków konserwujących z płynów pielęgnacyjnych, a nie na absorpcji lipidów z filmu łzowego jest nieadekwatne.

Uwaga szczegółowa: Zdanie we wnioskach jest niejasno sformułowane: „Wyniki niniejszego badania wskazują, że EWC, [...] dla soczewek wyjętych bezpośrednio z opakowania blister oraz po inkubacji w soli fizjologicznej w inkubatorze CLI, pozostała bardzo zbliżona do wartości deklarowanych przez producenta (nie wykazano statystycznie istotnych różnic).” – niejasne jest, czy doktorant ma na myśli wynik testu Manna-Whitneya dla pary „saline vs. blister” (tab. 24 i 25), czy odniósł zmierzone wyniki do wartości katalogowej, ale nie podał dokładnego wyniku i zastosowanego testu w części 2. (Wyniki)?

W podsumowaniu wieńczącym opis części badawczej Doktorant w sposób syntetyczny omawia wyniki wszystkich pięciu etapów doświadczalnych, kładąc szczególny nacisk na podkreślenie najistotniejszych wniosków oraz odnosi się do postawionych na początku hipotez badawczych. Treść podsumowania broni charakter wdrożeniowy i kliniczny pracy, podkreślając jakie korzyści przyniosą te badania dla nauki, praktyka – kontaktologa i przemysłu. Nie zgadzam się jednak ze stwierdzeniem, że „wyniki rozprawy wyznaczają ramy dla dalszej optymalizacji materiałów i protokołów pielęgnacyjnych w nowoczesnej kontaktologii”. Jest to zbyt daleko idący wniosek, ponieważ przeprowadzone badania miały charakter wstępnych, badano niewielką liczbę soczewek, pomiaru nie powtarzano, albo powtórzeń było niewiele. Prawdą jest, że w pracy wyznaczone zostały ramy dla dalszej optymalizacji, ale nie materiałów a metod i protokołów pomiarowych w celu lepszego poznania problemu interakcji lipidów z materiałem i wpływie tych relacji na LLT i EWC.

Do pełnego zwieńczenia rozprawy, składającej się z tak wielu osobnych eksperymentów, brakuje ostatecznego powiązania i syntezy wyników uzyskanych dla poszczególnych soczewek, które były przedmiotem większości tych badań. W szczególności byłoby interesujące poznanie stanowiska Doktoranta na temat wyników soczewek Biofinity i Acuvue Oasys, dla których pokazano wyraźne odwołanie w ostatnim eksperymencie i zobrazowano też dla tych materiałów adsorpcję lipidów, dyfuzję do matrycy, jak i jej kinetykę oraz LLT po ich założeniu na oko. Nasuwa się zatem pytanie, czy te liczne obserwacje o charakterze pilotażowym składają się w spójny i logiczny wywód?

W pracy jest kilka błędów redakcyjnych i stylistycznych:

- Pomyłka w odniesieniu do numeru rysunku 40 (str. 124).

- Pleonazm w zdaniu wyjaśniającym, co mierzono za pomocą interferometru IDRA® Ocular Surface Analyzer: „System działa poprzez analizę kolorów oraz wzorów interferencyjnych ...”. Obserwowane barwy są wynikiem interferencji światła białego, są to barwne wzory interferencyjne.
- Niezręczności stylistyczne, np. „co można zauważyć na rysunku 39 za pomocą zielonych strzałek.” Strzałka na coś wskazuje, nie jest narzędziem do obserwacji.
- „w tabeli 13 obliczono położenie...” w tabeli zamieszczono wyniki obliczeń
- Skróty myślowe prowadzące w błąd: np., na str. 137 Doktorant napisał: „Do oceny różnic statystycznych pomiędzy roztworami zastosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa dla wielu prób niezależnych, oparty na wszystkich dostępnych pomiarach. Stwierdzono statystycznie istotne różnice w zawartości wody pomiędzy poszczególnymi roztworami.” – nie mierzono przecież zawartości wody w roztworach użytych do inkubacji soczewek, tylko zawartość wody w soczewkach wyjętych z różnych roztworów.
- Osie xyz powinny zostać wyróżnione od zwykłego tekstu np. kursywą albo wielką literą.

Finalna konkluzja:

Przedłożona do recenzji praca doktorska stanowi wstęp do dalszych badań nad interakcją lipidy – materiał soczewki kontaktowej. Przeprowadzone wstępne obserwacje i pomiary pokazują możliwości mikroskopii konfokalnej oraz potencjał autorskiego inkubatora. Po każdym z eksperymentów Doktorant wnikliwie omówił wady i zalety, które mogą zostać wykorzystane jako rady w przyszłych badaniach.

Badania opisane w dysertacji były czasochłonne, wymagające staranności i zachowania reżimu czasowego. Lista publikacji przedstawiona w dysertacji sugeruje, że na podstawie przedstawionych badań zostały przygotowane artykuły naukowe. Doktorant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem we wszystkich pracach opublikowanych i wysłanych do recenzji. Na tej podstawie wnioskuję, że miał wiodącą rolę w ich przygotowaniu i przeprowadzeniu, a więc ma umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ponadto, wykazał się umiejętnością wyciągania wyważonych wniosków, nieuleganiem nadinterpretacji danych pilotażowych oraz sprawną argumentacją literaturową w obronie własnych racji. W mojej opinii Doktorant posiada ugruntowaną i wszechstronną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie nauki fizycznej o czym świadczy krytyczny przegląd literatury przedmiotu. Wykazana w części teoretycznej dojrzałość naukowa przejawia się w drobiazgowym usystematyzowaniu dotychczasowych doniesień naukowych oraz w identyfikacji nisz badawczych, które stanowiły bezpośredni punkt wyjścia do sformułowania ambitnych hipotez rozprawy.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska wnosi wkład do rozwoju metodologii badawczej, stanowiąc oryginalne i nowatorskie podejście do analizy kinetyki osadzania się depozytów lipidowych oraz dehydratacji polimerów na skutek ekspozycji na lipidy. Ze względu na pilotażowy charakter eksperymentów, często małą liczbę powtórzeń oraz brak jednoznacznych trendów, pracę tę należy traktować jako obiecujące studium wykonalności (*proof-of-concept*). Praca wpisuje się w standardy rozpraw o charakterze metodologicznym, których nadrzędnym celem jest opracowanie i walidacja nowego narzędzia badawczego, stanowiącego fundament pod przyszłe prace badawcze.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2024 r. poz. 157 z późn. zm.). W związku z powyższym dopuszczam doktoranta do obrony zgodnie z uchwałą nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego na Uniwersytecie Warszawskim.

Donata Suśmiałka



Wrocław, 17.11.2025

dr hab. inż. Dorota Szczęsna-Iskander, prof. ucz.
Katedra Optyki i Fotoniki
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Sulińskiego

p.t. “Badanie interakcji lipidów z powierzchnią
i matrycą silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych”

zrealizowanej pod kierunkiem

dra hab. Jacka Pniewskiego, prof. ucz.

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. oraz na zlecenie Przewodniczącego Rady dra hab. Jacka Szczytko, prof. ucz.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr Tomasza Sulińskiego przygotowana została w języku polskim, ma objętość 150 stron, a jej zasadnicza część składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów i bibliografii. Zamieszczono również wymagane oświadczenia, streszczenia w języku polskim i angielskim, listę najważniejszych skrótów, artykułów opublikowanych i wysłanych do recenzji, rysunków oraz tabel.

W początkowej części pracy Kandydat zamieścił swój aktualny dorobek naukowy obejmujący dwa artykuły w recenzowanych czasopismach naukowych; jeden w *Journal of Biomaterials Science. Polymer Edition* z IF 3,8 i 70-punktami wg wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych Ministra Nauki z dnia 5 stycznia 2024 r., drugi artykuł w czasopiśmie *Vision* z IF 1,8 niewystępujący w/w wykazie. Ponadto, kandydat ma w swoim dorobku cztery artykuły w, wg. mojej wiedzy, nierecenzowanym czasopiśmie naukowym *OphthaTherapy* znajdującym się w ww. wykazie oraz jeden artykuł w branżowym czasopiśmie *Optyka*, który nie jest związany z tematyką pracy doktorskiej. W wykazanej liście publikacji znajdują się też trzy prace, które zostały złożone do publikacji, ale do listopada 2025r. nie zostały opublikowane.

Pracę doktorską rozpoczyna Wprowadzenie, które w sposób zwięzły wprowadza czytelnika w problematykę podjętego w pracy tematu. Doktorant przedstawia motywację podjętego problemu badawczego opierając ją częściowo na ankiecie przeprowadzonej wśród optometrystów – kontaktologów (ECP). Zadeklarowane główne cele pracy są nieprecyzyjnie

sformułowane, jednak w dalszej części wprowadzenia są one uszczegółowione i przedstawione są trzy główne hipotezy badawcze. Zarówno hipotezy, jak i szczegółowe cele są przejrzyste i podkreślona jest waga każdego z podjętych problemów badawczych.

W rozdziale pierwszym – Wstęp – zawarto opis podstawowych pojęć i zagadnień związanych z tematyką pracy. Informacje poparte są adekwatną literaturą i podane w sposób zwięzły, często w punktach. Wstęp obejmuje najważniejsze dla tematu pracy zagadnienia, ale jedynie część dotycząca przeglądu badań osadów lipidowych na i wewnątrz soczewek kontaktowych została omówiona w sposób kompletny. Pozostałe wątki są streszczone powierzchownie i ogólnie. Przegląd piśmiennictwa dotyczący badań nad interakcją lipidów z soczewkami kontaktowymi został przygotowany chronologicznie, obszernie i wystarczająco wnikliwie (z małymi wyjątkami). Doktorant podsumował zastosowane do tej pory metody pomiarowe i ich wykorzystanie w badaniu soczewek w osobnym podrozdziale, co jest pomocne w zrozumieniu kierunku badań w tej dziedzinie. Natomiast, brakuje podobnie obszernego podsumowania dotyczącego stosowanych do tej pory roztworów łez (ATS) oraz dotychczasowych doniesień naukowych nt. składu warstwy lipidowej filmu łzowego, które uzasadniłoby podjęte kroki w badaniach własnych.

W rozdziałach II, III i IV doktorant opisał pięć przeprowadzonych eksperymentów, dzieląc je na trzy sekcje. W pierwszej użyto mikroskop konfokalny, w drugiej przeprowadzono pomiary grubości warstwy lipidowej filmu łzowego (LLT) na soczewkach kontaktowych *in vivo*, a w trzeciej zastosowano inkubator zaprojektowany i zbudowany w ramach niniejszej pracy doktorskiej. Jest to najważniejsza część pracy doktorskiej opisująca przeprowadzone badania prowadzące do udowodnienia postawionych hipotez i realizacji celów badawczych. Każdy z eksperymentów został opisany jak osobna publikacja zawierająca krótkie nakreślenie problemu, opis metodologii, wyniki wraz z ich dyskusją i wnioski cząstkowe. Materiały soczewek użyte do eksperymentów różnią się nieznacznie między sobą, stąd zrozumiałe jest, że doktorant zamieścił krótką charakterystykę użytych soczewek kontaktowych przed każdym eksperymentem, mimo, że niektóre z nich się powtarzają. Szczególnie staranie i wyczerpująco opisano sposoby przygotowania soczewek i ich inkubacji.

Poniżej odniosę się do każdego z przeprowadzonych badań oraz do głównych i cząstkowych hipotez badawczych komentując przedstawioną w pracy metodologię pomiarową i analizy rejestrowanych obrazów oraz otrzymane wyniki.

Pierwsza postawiona hipoteza jest następująca: Fluorescencyjna mikroskopia konfokalna, pozwala na rejestrację momentu inicjacji adsorpcji lipidów na powierzchni soczewki silikonowo-hydrożelowej (Si-Hy) oraz śledzenie ich penetracji do wnętrza materiału w czasie rzeczywistym, co umożliwia identyfikację różnic w mechanizmie osadzania się lipidów pomiędzy różnymi rodzajami materiałów Si-Hy.

W celu udowodnienia tej hipotezy przeprowadzono badania w trzech etapach. Badanie interakcji lipidów z soczewkami silikonowo hydrożelowymi rozpoczyna badanie charakterystyki odbicia światła na powierzchni soczewek. Jest to **badanie bazowe**, które, jak deklaruje autor, ma służyć ustaleniu warunków dalszych pomiarów. W tym eksperymencie obrazy zarejestrowane za pomocą mikroskopu konfokalnego były analizowane w ImageJ w celu obliczenia średniej wartości odbicia z powierzchni pięciu soczewek Si-Hy. Nie jest jednak opisane, jaka była metoda obrazowania i procedura obliczeń. Doktorant powinien uzupełnić opis metodologii o następujące wyjaśnienia:

1. Nie jest wiadome, co symbolizują niebieskie i żółte strzałki na rys.20,
2. W jaki sposób użyto ImageJ do wspomnianej analizy, czy była mierzona średnia wartość dla całego obrazu, czy też jego fragmentu?
3. Nie jest wiadome ile soczewek z danego materiału zostało zbadanych i dla jakiej liczby prób wyznaczono średnią i odchylenie standardowe R_s prezentowanego na rys. 22.
4. Zastrzeżenia budzi sposób prezentacji wyników na rysunkach 23 i 24. Informacje są powielane, a aproksymacja funkcją liniową i wniosek, że im wyższa zawartość wody, tym niższy R_s nie są statystycznie uzasadnione. Według mnie wyniki przede wszystkim pokazują, że średnia wartość odbicia jest podobna dla soczewek bez modyfikacji powierzchni niezależnie od n i EWC, a dla soczewek z modyfikacją powierzchni jest inna – wyższa dla jednej i niższa dla drugiej.
5. Doktorant wyciąga wiele wniosków, które nie są poparte prezentowanymi wynikami, m.in., że proponowana analiza sygnału odbicia pozwoli lepiej zrozumieć wpływ różnej charakterystyki osadów lipidowych na komfort noszenia soczewek. Wniosek ten powinien zostać lepiej uzasadniony albo usunięty.
6. Doktorant stwierdza, że zaproponowana metoda pozwala na rozróżnienie soczewek z modyfikacją powierzchni i bez niej. Istotnie, soczewki z modyfikacją powierzchni wyróżniają się na obu wykresach. Jednak, biorąc pod uwagę fakt, że nie przetestowano powtarzalności metody i nie doprecyzowano metody analizy średniej wartości odbicia, stwierdzenie uważam za nieuzasadnione statystycznie. Wykonane badania nie pozwalają na wyciągnięcie statystycznych wniosków, a jedynie można spekulować o potencjale tej metody.
7. Niezrozumiałe jest zdanie w dalszej części wniosków: „metoda odbiciowa pozwala na identyfikację umiejscowienia powierzchni soczewki”. Doktorant nie rozwija tego wniosku, a wydaje się być ważny w odniesieniu do kolejnego eksperymentu z użyciem mikroskopu konfokalnego.
8. Doktorant deklaruje, że proponowana metoda pozwala na odróżnienie soczewek z modyfikacją powierzchni. Proszę wyjaśnić, dlaczego jest to istotne, skoro producenci soczewek tą informację podają.
9. We wnioskach końcowych brakuje ustosunkowania się do szczegółowego celu pierwszego eksperymentu, którym było „opracowanie optymalnych ustawień akwizycji obrazu i stworzenie punktu odniesienia dla późniejszych eksperymentów obrazujących proces adsorpcji i penetracji lipidów w strukturze soczewek”. Te ustawienia są ważne w kontekście kolejnego eksperymentu, dlatego informacja o nich powinna znaleźć się w dysertacji.

W drugim eksperymencie za pomocą mikroskopu konfokalnego zarejestrowano osadzanie się i dyfuzję cholesterolu znakowanego fluoresceiną używając czterech soczewek SiHy różnych generacji. Są to takie same soczewki, które wybrano do pierwszego eksperymentu. Doktorant stawia hipotezę o wpływie modyfikacji powierzchni soczewek i ich składu chemicznego na osadzanie się lipidów. Soczewki były obrazowane w przekroju z oraz w 3D. Ponownie, metoda uzyskania obrazów i filmów, które są potem jakościowo analizowane przez autora, jest niejasna i nasuwa wiele pytań i wątpliwości, które powinny zostać wyjaśnione. W szczególności:

1. Jak znormalizowano intensywność fluorescencji dla każdego pomiaru? Czy brano pod uwagę wyniki poprzedniego eksperymentu, czyli różny sygnał odbicia dla różnych soczewek?

2. Ustawienia kamery rejestrującej są tu kluczowe dla zachowania podobnych warunków badania każdej z soczewek. Proszę o wyjaśnienie jakie były ustawienia kamery rejestrującej, czy kamera miała wyłączony Auto Gain Control?
3. W dyskusji autor wskazuje na ważne ograniczenie mikroskopii konfokalnej związane ze stopniowym spadkiem sygnału podczas przechodzenia przez materiał soczewki. Nie można zatem stwierdzić, tego o czym pisze autor, „że więcej lipidów osadziło się na wewnętrznej powierzchni soczewki”. Nasuwa się tu naturalnie kolejne pytanie, czy przeprowadzono pomiar na tych samych soczewkach po ich odwróceniu?
4. W dyskusji wyników pominięte jest odniesienie do wyników otrzymanych przez cytowanego we wstępie Qiao et al. (2020), który badał takie same materiały soczewek wykorzystując również mikroskop konfokalny i fluorescencyjnie znakowany ester cholesterolu.
5. W podrozdziale 2.3 doktorant słusznie przyznaje się do licznych ograniczeń przeprowadzanego eksperymentu. Biorąc je pod uwagę oraz sposób przeprowadzenia eksperymentu, czyli prawdopodobnie, pojedynczy pomiar każdej soczewki, zbyt odważne jest wnioskowanie, że badanie podkreśla WZORCE dyfuzji i osadzania się lipidów na soczewkach SiHy. Wnioski powinny być ostrożniej sformułowane.
6. Zauważam też niekonsekwencję pomiędzy przeprowadzaną wcześniej dyskusją wyników a wnioskami: autor wcześniej wspominał o nierozstrzygniętym pytaniu, czy lepiej, aby lipidy akumulowały się na powierzchni, czy wewnątrz soczewki, a we wnioskach stwierdza, że eksperyment przyczynia się do lepszego zrozumienia interakcji lipidów z soczewkami i wiąże to z możliwą poprawą komfortu noszenia. Na jakiej podstawie doktorant wnioskuje, że „otrzymane wyniki mogą mieć znaczenie dla poprawy komfortu noszenia i funkcjonalności soczewek”?

Pomimo pilotażowego charakteru eksperymentu i zbyt daleko idących wniosków, szczegółowa hipoteza, postawiona przez autora przed tymże eksperymentem, została udowodniona: dla pojedynczych różnych materiałów soczewek pokazano różne osadzanie się na powierzchni i przenikania cholesterolu.

W finalnym eksperymencie rozdziału II autor podejmuje się udowodnienia pierwszej głównej hipotezy pracy i proponuje zastosowanie mikroskopu konfokalnego z wirującym dyskiem Yokogawy. Jest to ciekawe i innowacyjne podejście w kontekście badań osadów lipidowych i soczewek kontaktowych. Tym razem przeprowadzone testy zostały powtórzone na każdym z wybranych materiałów. Przykładowe wyniki zaprezentowane są w różnych przekrojach, ale nie jest jasno wytłumaczone, jak te obrazy interpretować, np. skala na rys. 35 jest nieczytelna. Zaprezentowane są wyniki liczbowe dla w sumie dziesięciu zmierzonych soczewek, ale autor sam przyznaje, że opierają się one na błędnym założeniu liniowego modelu dyfuzji lipidów. Dlaczego więc pomiary nie zostały powtórzone po korekcji błędów? Doktorant z jednej strony jest świadom licznych ograniczeń przeprowadzonego eksperymentu, ale z drugiej strony wyciąga wnioski nt. porównania materiałów soczewek, które nie są jednoznacznie poparte wynikami. Pierwsza hipoteza badawcza została zatem częściowo potwierdzona, czym doktorant powinien podsumować finalny eksperyment.

Uwagi sugerujące poprawę:

1. Jeśli celem tej pracy było opracowanie metodyki badania typu *proof-of-concept*, jak deklaruje doktorant, to większy nacisk powinien zostać położony na opis metodologii i propozycji analizy oraz podkreśleniu innowacyjności tej metody badawczej w zastosowaniu do soczewek kontaktowych.

2. Proszę wytłumaczyć związek trzech pierwszych eksperymentów między sobą, skoro stanowiły trzyetapowy proces prowadzący do realizacji celu rozdziału II.

W rozdziale III doktorant opisał badanie *in vivo* LLT za pomocą komercyjnego urządzenia IDRA. Eksperyment jest związany z **hipotezą II**, która brzmi: Założenie soczewek Si-Hy powoduje statystycznie istotne zmiany grubości warstwy lipidowej filmu łzowego, w porównaniu do wartości wyjściowych, a skala tego efektu zależy od właściwości materiałowych soczewek. Celem było zbadanie LLT na soczewce kontaktowej po 1, 3 i 5 minutach od założenia. Cel ten jest dla mnie niezrozumiały, skoro w praktyce ECP ocenia dopasowanie soczewek po co najmniej 10 minutach od założenia (postępując zgodnie z wytycznymi CLEAR, BCLA). Opis całego eksperymentu jest chaotyczny. Podawane informacje nt. uczestników, metody pomiarowej i przebiegu pomiarów (protokołu pomiarowego) wymagają uporządkowania. Interferometr IDRA pojawia się w pracy wcześniej we wstępie i zarówno we wstępie, jak i w rozdziale III podane informacje na temat tej metody pomiarowej są zbyt powierzchowne na pracę doktorską. Doktorant nie wykazał się tutaj wiedzą teoretyczną nt. użytej metodologii pomiarowej. Poniżej wymieniam sugestie uzupełnienia opisu eksperymentu, który jest niezbędny do oceny znajomości metodologii pomiarowej przez doktoranta:

1. Na jakiej podstawie doktorant twierdzi, że LLT badane w pierwszych pięciu minutach ma znaczenie dla praktyka? Cel podjęcia się tych pomiarów powinien zostać lepiej uzasadniony.
2. Brakuje wyjaśnienia sposobu pomiaru LLT w [nm]. Czy na pewno użyty software (seria oprogramowania niepodana) podaje wynik z dokładnością do dziesiątej [nm]? Autor powinien wyjaśnić sposób przeliczania rejestrowanego obrazu na grubość w [nm].
3. Zdjęcie wyglądu komercyjnego urządzenia jest zbędne, za to brakuje pokazania sposobu obrazowania warstwy lipidowej filmu łzowego, opisanie w jakim obszarze soczewki badane jest LLT oraz załączenia przykładów dla badanych soczewek. Czytający nie wie, jak prezentowane później dane liczbowe zostały zmierzone. Ponadto, nigdzie w rozdziale doktorant nie napisał jakiego światła interferencję obserwuje.

Ponadto, moje uwagi dotyczą następujących części rozdziału III:

4. Uczestnicy – niezrozumiałe jest oświadczenie o zwiększonej badanej próbie 2-3-krotnie w porównaniu do poprzednich badań. W przytoczonych publikacjach badano 20 lub 31 osób, a tutaj 28.
5. Analiza statystyczna – do analizy statystycznej wybrano prawidłowe testy, ponieważ wszystkie soczewki były noszone przez te same osoby. Nie potrzebne jest zatem stwierdzenie o różnicach pomiędzy prawymi i lewymi oczami na str. 105. Po pierwsze dlatego, że przytoczone publikacje dotyczą różnic w TMH i osmolarności, a tutaj badano LLT. Po drugie, dlatego, że nie dotyczą one badań podczas noszenia soczewek kontaktowych.
6. W opisie metody statystycznej nie podano informacji o obliczeniu, czy podane korelacje między zmianami LLT a liczbą mrugnięć są znacząco różne od zera.
7. Sugeruję uporządkowanie dyskusji wyników i dopilnowanie, aby odwoływać się do innych prac podkreślając ich związek z otrzymanymi tutaj wynikami. W cytowanej pracy [278] badano film łzowy po dużo dłuższym czasie od założenia soczewki, a nie zostało to skomentowane. Praca [280] nie jest na temat soczewek kontaktowych.
8. Zwracam uwagę na uważniejsze formułowanie myśli: ostatni akapit na str. 113 jest niezrozumiały, a ostatnie zdanie na str. 113 sugeruje, że pomiar LLT ma służyć ocenie

dopasowania soczewki. Przecież ocena dopasowania soczewek nie polega na pomiarze LLT, jak sugeruje to zdanie.

Rozdział IV zawiera opis najciekawszego i najbardziej wartościowego naukowo eksperymentu, ponieważ zastosowano inkubację soczewek w warunkach zbliżonych do fizjologiczny zarówno pod względem bardziej złożonego składu ATS, jak i temperatury inkubacji i odtworzenia warunków noszenia soczewki. Eksperyment ten jest związany z **hipotezą III**: „Obecność osadów lipidowych na soczewkach Si-Hy prowadzi do istotnego zmniejszenia równowagowej zawartości wody (z ang. Equilibrium Water Content) EWC w materiale.” Rozdział zawiera wyczerpujący i klarowny opis składu ATS, autorskiego inkubatora oraz pomiaru termograwimetrycznego. Pomiary wykonano na soczewkach z dwóch różnych materiałów po osiem sztuk, a wyniki zawartości wody w soczewkach wyjętych z blistra, inkubowanych w soli fizjologicznej oraz ATS z i bez lipidów zaprezentowano na adekwatnych wykresach pudełkowych. Wykonano też testy statystyczne dla par płynów, ale wyniki zamieszczone w tab. 19 i 20 muszą zostać poprawione zgodnie ze standardem prezentowania dokładności zapisu. Autor proszony jest o wyjaśnienie następujących stwierdzeń w dyskusji:

1. Nt. braku statystycznie istotnych różnic między wartościami zmierzonymi dla ośmiu soczewek z danego materiału a wartością uwodnienia podaną przez producenta;
2. Nt. zwiększonego przyciągania lipidów przez hydrofilowe soczewki, gdzie powołuje się na Tighe et al. i Green et al., przy czym druga pozycja nie jest badaniem na temat osadów lipidowych.

Wnioski z tego badania słusznie podkreślają udowodnienie hipotezy III. Kończą się ciekawymi pomysłami na przyszłe badania.

W rozdziale V wszystkie przeprowadzone eksperymenty zostały podsumowane w kontekście otrzymanych wyników i realizacji postawionych na początku hipotez i celów badawczych. Doktorant przejrzyście zaprezentował najważniejsze osiągnięcia pracy doktorskiej. Pomiędzy jednak skomentowanie powiązania między eksperymentami. Spojenie tych wszystkich pojedynczych eksperymentów uważam za kluczowe dla wyjaśnienia celowości ich zaprojektowania i sposobu przeprowadzania. W szczególności, bezpośrednie powiązanie trzech etapów prowadzących do zoperacjonalizowania hipotezy I powinno zostać wyjaśnione w tym rozdziale, skoro nie zostało wcześniej.

W pracy jest wiele niekonsekwencji natury redakcyjnej. Autor powtarza wprowadzanie skrótów literowych, np. ATS jest wyjaśnione na str. 14 i ponownie na str. 86, wprowadzone wcześniej skróty nie są konsekwentnie używane (przykładem jest tab. 4), albo wprowadzony wcześniej skrót jest zastępowany innym, np. EWC i %H₂O. Ponadto, w tab. 4 autor odnosi się do niewłaściwej publikacji przy LC-MS ([247]). Nie ma jednostki Dptr. (tab. 6). Osie xyz powinny zostać wyróżnione od zwykłego tekst np. kursywą albo wielką literą. Ostatni akapit na str. 127 jest powtórzeniem poprzedzającego.

Odnosząc się do wymagań stawianym pracom doktorskim zgodnie z uchwałą nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. odpowiem na dwa główne pytania:

Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie nauki fizyczne oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Rozprawa doktorska nie prezentuje ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie nauki fizyczne. Kandydat nie wykazał jednoznacznie, czy znana jest mu metodologia pomiarowa mikroskopem konfokalnym i interferometrem do oceny grubości warstwy lipidowej filmu łożowego, ponieważ żadna z tych metod pomiarowych nie została wyjaśniona. Wykorzystane urządzenia obrazujące, pomiarowe oraz narzędzia analizy obrazów opisano powierzchownie. Brakuje kluczowych szczegółów technicznych, które są konieczne do zrozumienia opisanych wyników i oceny poprawności wyciągniętych wniosków. Kandydat wykazał w dysertacji, że znany jest mu dorobek nauki w zakresie podjętego problemu badawczego, czyli badań nad interakcją osadów lipidowych z soczewkami kontaktowymi, natomiast pozostałe metody badawcze są niewystarczająco rozwinięte, ograniczają się do ogólnikowych haseł i nie spełniają standardów merytorycznych wymaganych w pracach doktorskich. Uzupełnienie pracy doktorskiej o ww. informacje jest niezbędne, aby móc w pełni ocenić wartość naukową tej pracy.

Badania opisane w dysertacji były czasochłonne, wymagające staranności i zachowania reżimu czasowego. Lista publikacji przedstawiona w dysertacji sugeruje, że na podstawie wszystkich badań zostały przygotowane artykuły naukowe. Doktorant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem we wszystkich pracach opublikowanych i wysłanych do recenzji. Na tej podstawie wnioskuję, że miał wiodącą rolę w ich przygotowaniu i przeprowadzeniu, a więc ma umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Czy przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego albo oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej?

Oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego dotyczącego badania interakcji lipidów z matrycą soczewki silikonowo hydrożelowej jest wykorzystanie mikroskopu konfokalnego z wirującym dyskiem Yokogawa, który wcześniej nie był użyty do podobnych badań oraz pomiary z wykorzystaniem zbudowanego w tym celu inkubatora odtwarzającego warunki fizjologiczne na oku. Szkoda, że zarówno inkubator, jak i ciecz ze składem zbliżonym do składu filmu łożowego zostały użyte dopiero w ostatnim eksperymencie. Zastosowane do wcześniejszych eksperymentów mogłoby zmniejszyć ograniczenia, których wymieniano więcej, niż popartych wynikami wniosków. W świetle wielu zaawansowanych metod i przeprowadzonych badań nad osadzaniem się lipidów na różnych materiałach soczewek, zastosowanie płynu ATS jedynie z cholesterolem bez dodatkowych typowych składników filmu łożowego powszechnie występujących, wydaje się być zbyt dużym uproszczeniem, aby przedstawione w pracy pomiary stanowiły podstawę do wyciągnięcia wniosków tak daleko idących, na jakie pokusił się kandydat. Doktorant jest świadomy ograniczeń przeprowadzonych eksperymentów. Mimo to, wielokrotnie wymienia wnioski, które są daleko idącymi bezkrytycznymi spekulacjami.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska nie spełnia wszystkich wymagań ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm. W szczególności, w przedłożonej do recenzji dysertacji nie zaprezentowano ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie nauki fizyczne. W związku z powyższym **finalną konkluzją mojej recenzji jest skierowanie pracy do poprawy adekwatnie do uwag opisanych wyżej w celu spełnienia wszystkich warunków stawianym pracom doktorskim** zgodnie z uchwałą nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego na Uniwersytecie Warszawskim.



Dorota Szczęsna-Iskander