



dr hab. Maciej Szkulmowski, prof. UMK

maciej.szkulmowski@fizyka.umk.pl

tel.: 56 611 3213

Toruń, 20 września 2022

Recenzja rozprawy doktorskiej magister inżynier Marceli Niemczyk pt. „Statistical modeling of corneal OCT speckle”

Przedstawiona praca doktorska magister inżynier Marceli Niemczyk dotyczy rozwoju metod metrologicznych wykorzystujących statystyczne własności pola plamkowego obserwowanego w pomiarach uzyskanych za pomocą optycznej tomografii OCT do ilościowego i jakościowego charakteryzowania próbek sztucznych i rogówki oka, ex-vivo i in-vivo.

Autorka stawia trzy tezy badawcze. W pierwszej postuluje, że wartości natężeń w polu plamkowym mogą być modelowane za pomocą parametrycznych rozkładów prawdopodobieństw lub estymowane metodami nieparametrycznymi oraz, że otrzymane wyniki zależą od stężenia rozpraszających elementów w próbce. W drugiej, że zmiany w strukturze rogówek zachodzące pod wpływem zmian ciśnienia śródgałkowego znajdują odzwierciedlenie w wynikach uzyskiwanych powyższymi metodami. W trzeciej, że parametryczne i nieparametryczne metody analizy pola plamkowego dają porównywalne wyniki w zastosowaniu do danych uzyskiwanych z rogówek.

W celu dowiedzenia tych tez Autorka wykorzystuje szereg znanych z literatur rozkładów prawdopodobieństw do modelowania natężenia plamek w obrazach OCT zarejestrowanych w eksperymentach na fantomach oraz próbkach biologicznych in-vitro i in-vivo. Przeprowadza właściwe eksperymenty, dokonuje analizy statystycznej uzyskanych wyników oraz przeprowadza wnikliwą dyskusję uzyskanych wyników.

Praca doktorska napisana jest w języku angielskim, a jej układ jest czytelny i przejrzysty. Zawiera ona 85 stron głównej części podzielonej na 4 rozdziały, dwa dodatki oraz bogaty spis literatury zawierający ponad 140 pozycji. Dodatkowo praca zawiera 24 strony części wstępnej zawierającej polskie i angielskie streszczenia, oraz spisy (publikacji autorki, treści, figur, tabel oraz skrótów i symboli).

Rozdział pierwszy (Introduction) podaje czytelnikowi niezbędne informacje dotyczące trzech tematów wykorzystywanych w pracy: (1) zasady działania i aplikacji optycznej tomografii koherencyjnej (OCT), (2) podstaw teorii powstawania pola plamkowego w obrazowaniu z wykorzystaniem światła spójnego oraz sposobów modelowania rejestrowanego natężenia światła, oraz (3) budowy rogówki, jej własności fizycznych i optycznych oraz ich zmian z wiekiem. Informacje zawarte w tym rozdziale są wystarczające do zrozumienia pozostałych części pracy, a





bogata bibliografia jest dobrym przewodnikiem dla czytelnika chcącego pogłębić wiedzę poza zakres rozprawy.

Rozdział drugi (Methodology) opisuje metodologię eksperymentów przeprowadzanych przez Autorkę oraz narzędzia matematyczne wykorzystane do opracowania wyników.

Eksperymenty zostały zaprojektowane adekwatnie do celów postawionych w pracy. W pierwszej kolejności autorka wytworzyła próbki o kontrolowanej koncentracji rozpraszających drobin w celu zbadania wpływu gęstości rozpraszaczy na pole plamkowe. W kolejnym kroku użyła oczu świńskich, w których w kontrolowany sposób sterowała ciśnieniem śródgałkowym w celu zbadania zależności własności pola plamkowego w funkcji ciśnienia. W ostatnim kroku przeprowadziła eksperymenty na grupie zdrowych ochotników w dwóch grupach wiekowych, dla których również przeprowadziła badanie zależności własności pola plamkowego od, mierzonego niezależnie, ciśnienia śródgałkowego.

W części dotyczącej zastosowanych metod analizy danych Autorka szczegółowo opisuje kroki przetwarzania. W pierwszej kolejności opisuje proces segmentacji rogówki i wybór właściwego obszaru pola plamkowego. Następnie podaje wzory na wybrane rozkłady natężenia punktów obrazu oraz użyte metody estymacji parametrów tych rozkładów. Opisuje również metody opisu pola plamkowego za pomocą miar nie wymagających modelu, które odnoszone są do wzorcowego rozkładu Rayleigha. W dalszej kolejności podaje również biometryczne miary charakteryzujące badane rogówki oraz metody zastosowane w analizie statystycznej uzyskanych wyników.

Rozdział trzeci (Results) w systematyczny sposób opisuje wyniki uzyskane przez Autorkę w eksperymentach przeprowadzonych według metodologii z rozdziału trzeciego.

W części dotyczącej fantomu o zmiennej koncentracji elementów rozpraszających Autorka pokazuje wartości parametrów pola plamkowego wyznaczonych metodami parametrycznymi i nieparametrycznymi. Na przedstawionych wykresach widać, że wartości parametrów skali i kształtu dla rozkładów parametrycznych maleją wraz ze wzrostem koncentracji (z wyjątkiem tych rozkładów, dla których parametr skali jest stały). Z kolei wartości miar wyliczanych metodami nieparametrycznymi rosną.

Część dotycząca analizy wyników z eksperymentów na oczach świńskich ex-vivo jest najbardziej rozbudowaną częścią rozdziału. Autorka analizuje wpływ zmieniającego się ciśnienia śródgałkowego oraz upływu czasu na parametry pola plamkowego opisanego metodami parametrycznymi oraz zmiany miar biometrycznych opisujących rogówki. Pokazuje różnicę pomiędzy zmianami zachodzącymi w przedniej i tylnej części rogówki. Potwierdza też, że podejście nieparametryczne do analizy pola plamkowego również pozwala na obserwację zmian w funkcji ciśnienia i czasu.



W ostatniej części tego rozdziału Autorka przedstawia wyniki z eksperymentów na żywych ochotnikach. W tym przypadku również udało się zaobserwować pewne zmiany w miarach wyznaczonych metodami parametrycznymi i nieparametrycznymi, ale wyniki nie były tak statystycznie istotne jak w eksperymentach in-vivo.

Rozdział czwarty (Discussion and future directions) zawiera omówienie wyników opisanych w rozdziale trzecim. Autorka szczegółowo rozważa wyniki uzyskane w każdym z przeprowadzonych eksperymentów, porównuje z danymi literaturowymi i podaje rozumowanie, które tłumaczy uzyskane rezultaty. W toku dyskusji uzasadnia potwierdzenie wszystkich trzech hipotez postawionych na wstępie.

Dodatki. Praca zakończona jest dwoma dodatkami, w których Autorka analizuje zastosowanie rozkładu Gamma do opisu rozkładu natężeń w obrazach OCT w obszarach zawierających plamki oraz zawierających sam szum. W dodatku A pokazuje, że rozkład Gamma nadaje się lepiej do opisu szumu niż plamek. W dodatku B natomiast czyni założenie, że oba przyczynki do natężenia w obrazie OCT są dane tym rozkładem i wykonuje skrupulatną pracę prowadzącą do analitycznych wyrażeń na momenty łącznego rozkładu oraz jego parametrów. Niestety rozkład łączny nie opisuje dobrze wartości eksperymentalnych, co zresztą jest zgodne z wynikami pokazanymi w Dodatku A.

Praca napisana jest w sposób bardzo metodyczny, skrupulatny i ma logiczny układ z wyraźnie oddzielonymi częściami. Zawartości kolejnych rozdziałów nie przenikają się i w żadnym momencie czytelnik nie napotyka niespodziewanych treści, co sprawia, że pracę czyta się z dużą przyjemnością, zwłaszcza, że jest wolna od błędów językowych i stylistycznych. Przyjęte hipotezy badawcze są precyzyjnie określone i odpowiedź na nie jest istotna dla współczesnej diagnostyki obrazowej. Metodologia badań jest przemyślana i oszczędna, wykonanie eksperymentów wzorowe, a wybrane analizy prowadzą do odpowiedzi na postawione hipotezy badawcze. Godne uznania jest wskazanie przez Autorkę i dyskusja ograniczeń związanych z wybraną metodologią. W szczególności możliwości ilościowego przełożenia wyników z eksperymentów ex-vivo na wnioski wyciągane z eksperymentów in-vivo. W dodatkach wyraźnie widać też nieprzeciętne umiejętności matematyczne Autorki.

W trakcie czytania pracy znajdowałem w tekście odpowiedzi na nasuwające się wcześniej pytania i wątpliwości. Bez odpowiedzi zostały jedynie poniższe kwestie:

1. Autorka dokonuje ilościowych analiz plamek wybierając obszary zainteresowania (ROI) na obrazach OCT. W przeprowadzonych analizach zakłada milcząco, że obserwowane natężenia zależą wyłącznie od mikrostruktury obiektu, i że nie zmienia się ona istotnie w obszarze ROI. To założenie nie jest jednak do końca prawdziwe. Ułożenie włókien kolagenowych w rogówce jest równoległe do powierzchni rogówki, która jest w pierwszym



przybliżeniu fragmentem sfery. W efekcie, w różnych fragmentach obrazu OCT włókna są ułożone pod różnym kątem do wiązki skanującej i natężenie światła rozproszonego wstecz do układu detekcji spada wraz z odległością od centrum obrazu. Widać to wyraźnie choćby na obrazie 2.7, na którym widać również wpływ tego spadku natężenia na wyliczone mapy wartości parametrów rozkładu gamma. Na żadnym z obrazów OCT nie widać też centralnego odbłasku, co może sugerować, że nie jest w pełni kontrolowana również odległość od środka rogówki, a w konsekwencji kąt padania wiązki OCT na rogówkę w płaszczyźnie prostopadłej do obrazu. Rodzi to pytania o wariancję parametrów ze względu na wykonywanie pomiarów w różnych punktach rogówki.

2. Figury 3.1 do 3.5 nie pokazują wartości błędu wyznaczonych parametrów i miar. To niedopatrzenie nie powtarza się w kolejnych wynikach w rozdziale.

Poza formalnymi uwagami powyżej, trochę zasmuca, że Autorka w rozdziale dotyczącym historii tomografii OCT nie wspomniała w ogóle o znaczącym wkładzie badaczy z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (i Collegium Medicum w Bydgoszczy), którzy jako pierwszy na świecie pokazali zastosowania spektralnej tomografii optycznej w okulistyce oraz których know-how było podstawą tomografów OCT firmy OPTOPOL, których Autorka używa w rozprawie doktorskiej.

Wyniki otrzymane przez Autorkę zostały zaprezentowane w trzech artykułach z listy JCR (w tym dwóch pierwszoautorskich) oraz czterech materiałach konferencyjnych. Prace Autorki w ciągu 2 lat osiągnęły 10 cytowań, co pokazuje, że uzyskane przez nią rezultaty zaczynają rezonować w świecie naukowym.

Stwierdzam, że praca doktorska spełnia wszystkie warunki określone w art. 187 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska prezentuje ponadprzeciętnie wysoki poziom naukowy i świadczy o dużych umiejętnościach oraz dojrzałości naukowej Marceli Niemczyk. Z tego powodu wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej za wyróżniającą.

Maciej Sekulowski