

Prof. dr hab. inż. Jolanta Pauk  
Politechnika Białostocka  
Instytut Inżynierii Biomedycznej  
Wiejska 45C, 15-351 Białystok  
e-mail: j.pauk@pb.edu.pl, tel. 510 034 086

Białystok, 15.11.2022

### **Recenzja**

#### ***rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Jędzierowskiej „Algorytmy komputerowej analizy obrazów w analizie deformacji rogówki oka”***

Recenzję opracowano na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna prof. dr. hab. inż. Marka Gzika z dnia 26.10.2022 r. Praca doktorska została przygotowana pod opieką naukową prof. dr. hab. inż. Roberta Koprowskiego i prof. dr. hab. n. med. Doroty Tarnawskiej.

### **1. Ocena układu rozprawy doktorskiej i formalnej strony**

#### **1.1. Formalna strona pracy**

Recenzowana praca stanowi zbiór siedmiu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, czterech przeglądowych i trzech doświadczalnych, które zostały opublikowane w latach 2014-2022. Liczą one łącznie 97 stron i zostały poprzedzone 32-stronicowym wprowadzeniem. Prace przeglądowe zostały opublikowane w rozdziałach monografii pokonferencyjnej *Advances in Intelligent Systems and Computing* (3 prace - 20 pkt. MEN) i *Biomedical Engineering Online* (1 praca - IF=3,903, 70 pkt. MEN). Z kolei trzy prace doświadczalne opublikowano odpowiednio w *Biomedical Engineering Online* (IF=3,903, 70 pkt. MEN), *Jurnal of Thermal Biology* (IF=3,189, 70 pkt. MEN) i w rozdziale monografii pokonferencyjnej *Advances in Intelligent Systems and Computing* (20 pkt. MEN). Sumaryczna wartość współczynnika IF dla tych prac wyniosła około 11 (średni IF=3,665). Wszystkie siedem prac, składających się na rozprawę doktorską mgr inż. Magdaleny Jędzierowskiej, są współautorskie, we wszystkich Doktorantka jest pierwszym autorem. Zgodnie z zamieszczonymi oświadczeniami miała Ona bardzo duży (od 85% aż do 95% - średnio 89,3%) udział w tworzeniu tych publikacji. Jednocześnie skład autorski tych publikacji

wskazuje na wsparcie i współdziałanie zespołu badawczego w realizacji badań, których wyniki zawarte są w niniejszej rozprawie doktorskiej.

Podobnie dobrą jakością jak publikacje odznacza się autoreferat. Autorka potrafiła w przystępnej, syntetycznej formie przedstawić całość zagadnienia, naświetlić cele i przebieg badań oraz podkreślić ważność uzyskanych wyników, wskazując na wkład w badania podstawowe. Dokumentacja zawarta w publikacjach objęła 4 schematy, 1 rysunek przedstawiający obrazy z pełnym procesem deformacji rogówki, a także 2 tabele. W autoreferacie Doktorantka zacytowała 41 publikacji. Przegląd wiedzy zaprezentowany w publikacjach przeglądowych został przeprowadzony na podstawie odpowiednio 45, 28, 105, 43 wartościowych i dobrze dobranych publikacji. Z kolei w pracach doświadczalnych Doktorantka odwołała się odpowiednio do 62, 21 i 47 publikacji.

## **1.2. Układ rozprawy doktorskiej**

Układ rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Jędzierowskiej jest zgodny z normami przyjętymi dla tego typu opracowań, a na podkreślenie zasługuje syntetyczność, systematyczność i przejrzystość wynikająca z właściwie przyjętej koncepcji przygotowania rozprawy.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z autoreferatu, cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy oraz oświadczeń współautorów.

Stanowiący Autoreferat, liczący 32 strony, złożony jest z czterech rozdziałów: (1) wstępu, (2) celu i tezy pracy, (3) cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, (4) podsumowania i wniosków, a także literatury.

W rozdziale 1. Wstęp, Autorka wskazała na brak rozwiązań w zakresie możliwości wykrycia pełnego zewnętrznego konturu rogówki oka, brak parametrów pozyskiwanych na podstawie analizy struktury rogówki oka w oprogramowaniu tonometru Corvis ST i niezależnych publikacjach, a także narzędzi pozwalających na przeprowadzenie takiej analizy. Remedium na to mają być zaawansowane metody analizy i przetwarzania obrazów. Doktorantka bardzo słusznie podkreśliła konieczność opracowania nowych algorytmów, dostrzegając możliwość ich zastosowania do oceny znanych parametrów jak i do pozyskania nowych.

Doktorantka wytyczyła cele rozprawy doktorskiej: (1) opracowanie algorytmu wykorzystującego zaawansowane metody przetwarzania obrazów do automatycznego wyznaczania krawędzi rogówki; (2) analizę przydatności diagnostycznej parametrów pozyskiwanych z dynamicznej deformacji rogówki; (3) analizę zmian struktury rogówki oka

dla sekwencji obrazów dynamicznej deformacji rogówki; (4) opracowanie metody pozwalającej na weryfikację poprawności pacjenta podczas badania tonometrycznego. Dążąc do osiągnięcia postawionych celów Doktorantka wykorzystwała szereg nowoczesnych narzędzi badawczych oraz metod dobrze dobranych i zmodyfikowanych na potrzeby badań własnych.

## 2. Ocena rozprawy

Wybór tematu pracy uważam za interesujący i niezwykle aktualny. Mieści się on w ważnym i priorytetowym obszarze naukowym, który wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria biomedyczna. W tym miejscu istotne jest podkreślenie, że wartość merytoryczna opisanych badań została już pozytywnie oceniona przez recenzentów poszczególnych publikacji włączonych do rozprawy. Moja recenzja tak przygotowanej rozprawy koncentruje się przede wszystkim na ocenie autoreferatu. Ta część dysertacji, będąca autorskim przygotowaniem Doktorantki pokazuje Jej zasób wiedzy, umiejętności, formułowania wniosków i posługiwania się piśmiennictwem naukowym.

Nowe opracowanie rozprawy doktorskiej, które podąża za duchem czasu wymaga pełnej spójności opisu uzyskanych wyników z danymi opublikowanymi w załączonych publikacjach oraz umiejętności syntetycznej analizy całości uzyskanych wyników na tle danych z piśmiennictwa. Ocenę rozprawy wraz z uwagami zamieszczam poniżej:

- Moim zdaniem wprowadzenie do rozprawy doktorskiej powinno zawierać zwięzłe streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.
- Wstęp – ta część autoreferatu liczy nieco ponad 3 strony i dotyczy opisu istniejących metod i rozwiązań przeznaczonych do analizy narządu wzroku. W mojej opinii, po krótkim wstępie, Doktorantka powinna przedstawić pogłębioną analizę stanu wiedzy z zakresu tematu rozprawy doktorskiej.
- W drugiej części pracy Doktorantka sformułowała cele pracy i postawiła trzy tezy naukowe, a wykazanie ich słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i znaczenie praktyczne.
- Część trzecia pracy (25 stron) zawiera streszczenie opublikowanych prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej wraz z celem, metodyką badań i osiągniętymi rezultatami. Prace [1-2,4,6] mają charakter przeglądowy. W obecnym kształcie artykuły [1-2] nt. *Imaging of the anterior eye segment in the evaluation of corneal dynamics* i *Overview of the ocular biomechanical properties measured by the ocular response analyzer and the Corvis ST* eksponują wyłącznie cel, dla którego

zostały napisane tj. porównanie dwóch tonometrów do pomiaru parametrów biomechanicznych rogówki oraz metod obrazowania przedniego odcinka oka do oceny deformacji rogówki wywołanej podmuchem powietrza. Na podstawie przeglądu literaturowego Doktorantka wykazała brak urządzeń pozwalających na pełną analizę deformacji rogówki w odniesieniu do wszystkich jej przekrojów oraz metod standaryzujących czynniki wpływające na jej przebieg. Przedstawiła również argumenty przemawiające za koniecznością opracowania nowych parametrów biomechanicznych, które wskażą ewentualne jednostki chorobowe. Praca przeglądowa nt. *Novel dynamic corneal response parameters in a practice use: a critical review* [4], opublikowana w 2019 roku, wskazuje na wiedzę Doktorantki i zainteresowanie tematem, a zarazem na doświadczenie oraz umiejętność pisania tego typu prac. Opracowany i przedstawiony w publikacji materiał dał podstawę do opracowania nowej metody analizy obrazów i jej walidacji. Z kolei w pracy nt. *Limitations of corneal deformation modelling during IOP measurement – a review* [6], analiza literaturowa pozwoliła na określenie głównych problemów związanych z modelowaniem ludzkiej gałki ocznej podczas pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego. Problemy te dotyczą: rodzaju materiału rogówki oka, geometrii modelu, ewentualnego uwzględnienia płynów we wnętrzu gałki ocznej, symulacji wibracji rogówki, a także warunków brzegowych modelu. Szkoda, że ciekawy przegląd literaturowy nie skłonił Doktorantki do podjęcia się zagadnienia modelowania biomechanicznych właściwości gałki ocznej podczas ciśnienia wewnątrzgałkowego. Prace [3,5,7] mają charakter prac oryginalnych. Praca [3] nt. *A new method for detecting the outer corneal contour in images from an ultra-fast Scheimpflug camera* obejmuje obszerny materiał doświadczalny, ale też jest najlepiej napisana spośród [1-7]. W szczególności, zadbano w niej o podanie definicji rozmaitych pojęć, którymi posługiwała się Doktorantka, a które nie zawsze były wyjaśnione w innych artykułach, dostarczono dokładnego opisu poszczególnych etapów analizy. Na pochwałę zasługują: a) analiza 15 400 obrazów 2D przedstawiających przekrój poprzeczny rogówki podczas jej deformacji w trakcie badania ciśnienia wewnątrzgałkowego; b) pomysłowa i po części nowatorska metoda wykrywania zewnętrznej krawędzi rogówki na podstawie zewnętrznego konturu rogówki wyznaczonego przez eksperta; c) implementacja i weryfikacja metody. Przyznam, że praca [3] bardzo mi się podoba – dotyczy ważnego zagadnienia, została przejrzysta i ciekawie napisana oraz pięknie zilustrowana. Upatruję w niej potencjalnie dużej przydatności dla praktyków zajmujących się analizą obrazów medycznych. Praca [5] nt.

*Analysis of changes in corneal structure during intraocular pressure measurement by air-puff method* dotyczy pewnego obszaru analizy struktury rogówki oka z tonometru Corvis ST. W artykule zaproponowano metodologię umożliwiającą analizę struktury rogówki oka w trakcie badania ciśnienia wewnątrzgałkowego metodą bezkontaktową. Prowadzone w niej rozważania wiodą tym razem do opracowania algorytmu do automatycznego śledzenia w czasie konkretnych obszarów rogówki. W artykule [7] nt. *The use of infrared thermal imaging in tonometry with a Scheimpflug camera* mamy do czynienia z danymi dotyczącymi pomiarów termograficznych twarzy pacjentów. Jednakże ich analiza stanowi wyłącznie tło do rozważań dotyczących oceny poprawności pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego metodą bezkontaktową, a udział Doktorantki jest powiązany z metodologią badań i obejmuje wstępne i główne przetwarzanie termogramów, a także określenie optymalnych procedur pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego. Nasuwa się pytanie dlaczego do badania włączono tylko 10 pacjentów w szerokim przedziale wiekowym od 30 do 86 lat? Uważam, że w tej części rozprawy powinny być podane nr decyzji Lokalnej Komisji Bioetycznej.

- Część czwarta obejmuje podsumowanie i wnioski końcowe (2 strony). Czy i w jakim kierunku zamierza Doktorantka prowadzić dalsze badania?
- Istotnym niedociągnięciem autoreferatu jest brak dyskusji, w której Doktorantka mogłaby w pełni wykazać się dojrzałością naukową i zdolnością do kompleksowej interpretacji uzyskanych przez siebie wyników na tle danych piśmiennictwa.
- Publikacje, na których opiera się rozprawa są wieloautorskie, dlatego należało się pokusić o bardziej szczegółowe wykazanie, co w każdej z prac stanowi osiągnięcie Doktorantki, a co Jej współautorów, gdyż to w zasadniczej mierze powinno być oceniane.

Prosiłabym, żeby Doktorantka odniosła się na publicznej obronie do wskazanych powyżej uwag dyskusyjnych.

### **3. Podsumowanie**

Badania były tak prowadzone, aby kolejno realizować założone cele. Tezy postawione na początku pracy (str. 7 rozprawy) stanowiły podstawę opracowania nowatorskiej metodyki, a wykonane analizy umożliwiły potwierdzenie tych tez.

W podsumowaniu pragnę podkreślić, że wyniki opisane w recenzowanej rozprawie doktorskiej są oryginalne i interesujące. Mają one znaczący wkład w tworzenie efektywnych metod przetwarzania i analizy obrazów i rozwiązują problem wykrywania zewnętrznej krawędzi rogówki. Są niezwykle istotne z punktu widzenia poznawczego i aplikacyjnego, gdyż otwierają perspektywy praktycznego zastosowania w diagnostyce chorób oczu. Reasumując recenzowana rozprawa doktorska jest kompleksowym opracowaniem, którego niewątpliwymi osiągnięciami są:

- Opracowanie skutecznej metody automatycznego wyznaczenia zewnętrznej krawędzi rogówki;
- Ocena przydatności diagnostycznej dostępnych parametrów dynamicznej deformacji rogówki oka wraz z określeniem zależności między poszczególnymi parametrami;
- Opracowanie metody analizy struktury rogówki do śledzenia zmian jej struktury, a także dwóch nowych parametrów dynamicznej deformacji rogówki oka;
- Opracowanie nieinwazyjnej metody weryfikacji poprawności ustawienia pacjenta podczas badania tonometrycznego z wykorzystaniem obrazowania termowizyjnego.

Przedstawione w recenzji uwagi mają charakter marginalny i nie umniejszają zupełnie wartości rozprawy. Recenzowana praca napisana została w sposób wskazujący na odpowiednią wiedzę teoretyczną i praktyczną oraz umiejętność interpretacji wyników przez mgr inż. Magdalenę Jędzierowską.

#### **4. Wnioski końcowe**

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Jędzierowskiej nt. *Algorytmy komputerowej analizy obrazów w analizie deformacji rogówki oka* spełnia formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim przewidzianym rozporządzeniem MNiSW z dnia 19 stycznia 2018 r. Wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.