

Prof. dr hab. n. med. Urszula Mazurek
Górnślaska Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości
im . Karola Goduli w Chorzowie
41-506 Chorzów ul. Raclawicka 23

Chorzów 15. 06 2022

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Żanety Garczyk pt: „ Trójwymiarowy model jako narzędzie do wyznaczania objętości porów biomateriału przeznaczonego do implantacji” wykonanej na Wydziale Inżynierii Biomedycznej, Politechniki Śląskiej, w Zabrze, pod kierunkiem dr hab. Sebastiana Stach, profesora UŚ oraz dr hab. Andrzeja Swinarew, profesora UŚ

Rozprawa doktorska mgr inż. Żanety Garczyk (107 stron) została starannie przygotowana i zawiera wszystkie nieodzowne elementy. W części teoretycznej (49 stron – cztery rozdziały) , obejmującej przegląd literaturowy, Doktorantka po krótkim wprowadzeniu w tematykę pracy, omawia aktualny stan wiedzy na temat klasyfikacji i porowatości biomateriałów, podając przykłady ich zastosowania w różnych dziedzinach medycyny. Dalsza część przeglądu literaturowego, dotyczy głównie biomateriałów ceramicznych, rozpoczynając od opisu różnych metod otrzymywania porowatej bioceramiki oraz możliwości zastosowania jej jako materiału kośćozastępczego, powłok implantów, a także jako nośników leków. Doktorantka podkreśla że, zastosowana metoda wytworzenia porowatego biomateriału decyduje o jego porowatości oraz o wielkości i kształcie porów, co ma istotne znaczenie w aplikacyjności syntetyzowanego materiału. Np. W medycynie regeneracyjnej porowatość implantu powinna być dobrana odpowiednio do rodzaju tkanki, którą ma zastępować, pełniąc funkcję macierzy pozakomórkowej lub nośnika leków. Powinna umożliwić komórkom zasiedlenie implantu, migrację do miejsca regeneracji, transport składników odżywczych i produktów przemiany materii, a także ułatwić unaczynienie nowo powstającej tkanki.

Omawiając różne metody otrzymywania porowatej ceramiki, Doktorantka zwraca uwagę na złożoność przeprowadzenia danej metody, porowatość otrzymywanego materiału oraz na możliwość kontroli procesu tworzenia porów.

Jedną z nowszych metod opisywanych przez Doktorantkę jest wytwarzanie ceramiki porowatej techniką żelowania spienionej zawiesiny (ang. *gelcasting of foams*). Metoda ta pozwala na wytwarzanie ceramiki o porowatości całkowitej w zakresie 60–95%,

charakteryzującej się występowaniem sferycznych porów o średnicy 100–900 μm połączonych ze sobą tzw. okienkami o średnicy 30–150 μm . Obecność okienek na ściankach porów sprawia, że tworzywo jest przepuszczalne dla cieczy i gazów. Właśnie tą metodę Doktorantka wybrała do realizacji swojej części eksperymentalnej w pracy doktorskiej. Wprowadzając określone modyfikacje tej metody, można modelować strukturę porowatej bioceramiki, optymalizując możliwość wykorzystania tego materiału w medycynie.

Ostatnim rozdziałem przeglądu literatury jest opis metod pomiaru porowatości biomateriału z podziałem na metody eksperymentalne, mikroskopowe i metody rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej (rozdział 3.4).

Część teoretyczna pracy została przygotowana na podstawie 47 pozycji piśmiennictwa, które Doktorantka wybrała i cytowała prawidłowo. Najstarsze pozycje literaturowe, do roku 2000 - w pracy stanowiły ok 5% całości. Pozostałe cytowane publikacje, publikowane w latach 2000-2010 - stanowiły 53% całości oraz w latach 2011-2021 ok. 42%. Pozycje literaturowe cytowane przez mgr inż. Żanetę Garczyk, umożliwiły Doktorantce przekazanie usystematyzowanej wiedzy na temat biomateriałów, dodatkowo wskazując, ciągły rozwój metod ich pozyskiwania, metod analizy i coraz szerszego zakresu możliwości aplikacyjnych. Chciałabym również podkreślić, że spośród cytowanych pozycji literaturowych są 4 prace Doktorantki w których mgr inż. Żaneta Garczyk jest pierwszym autorem (pozycja 138- rok 2018, pozycja 137- rok 2019, 147 – rok 2020 i 148 – rok 2021). Wskazuje to na systematyczność pracy oraz dużą aktywność naukową Doktorantki.

Rozprawa doktorska mgr inż. Żanety Garczyk podejmuje istotny z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia problem badawczy. Spektrum zastosowania biomateriałów porowatych w medycynie cały czas się powiększa, a charakterystyka porów stanowi istotne kryterium aplikacyjne. Metody pomiarowe porów, które oparte są na modelowaniu oraz symulacji komputerowej, mogą wypełnić brakującą lukę metodyczną w analizie materiałów porowatych. Modele stanowią bazę współczesnych badań prawie we wszystkich dziedzinach nauki. Ich podstawową zaletą jest duża dokładność uzyskiwanych wyników oraz możliwość dynamicznej zmiany parametrów modelu lub warunków jego pracy.

Doktorantka w swojej dysertacji podjęła próbę opracowania trójwymiarowego modelu stanowiącego narzędzie do wyznaczania porów w biomateriałach, ich wymiarów geometrycznych, zarówno wewnątrz materiału jak i na jego powierzchni, a w konsekwencji umożliwiającego wyznaczenie objętości porów otwartych oraz szacowania średniej objętości porów na jednostkę powierzchni biomateriału oraz weryfikacja modelu na materiale rzeczywistym (rozdział 4).

Materiał badawczy stanowiły próbki porowatego biomateriału korundowego wytworzone metodą spieniania chemicznego (rozdział 5.1), analizowane metodą mikroskopową z zastosowaniem: skaningowego laserowego mikroskopu konfokalnego LEXT OLS4000 oraz na podstawie pomiarów dokonanych z zastosowaniem wysokorozdzielczego skanera rentgenowskiego GE Phoenix (rozdział 5.2). W tym miejscu trzeba podkreślić, iż zgodnie z najlepszymi zasadami, Doktorantka dokładnie opisuje tok postępowania w kolejnych etapach realizowania dysertacji, tak że jest on do powtórzenia w każdej pracowni posiadającej podobną aparaturę.

Proces tworzenia modelu Doktorantka rozpoczęła od ustalenia założeń, które model powinien spełniać. W ramach tego etapu, mgr inż. Żaneta Garczyk przeprowadziła pomiary powierzchni biomateriału, za pomocą mikroskopu konfokalnego, z wykorzystaniem dwóch typów obiektywów o powiększeniu od 54 do 432-krotnym oraz od 108 do 864-krotnym. Otrzymane obrazy, przeanalizowała w oprogramowaniu SPI P firmy Image Metrology, wyodrębniając pory, które po dokładnych pomiarach stanowiły podstawę do opracowania założeń modelu (rozdział 5.3).

Kolejnym etapem części eksperymentalnej pracy była implementacja modelu. Równoległe z programowaniem modelu, Doktorantka zaprojektowała i zaimplementowała graficzny interfejs użytkownika (GUI), niezbędny, ze względu na zmieniające się parametry wejściowe modelu oraz potrzebę kontrolowania rozmiarów modelu w kontekście wykonywania pomiarów geometrii porów. Połączenie modelu z interfejsem umożliwia użytkownikowi określenia rozmiaru modelu, liczby porów oraz minimalnej i maksymalnej średnicy porów.

Kolejnym udoskonaleniem modelu jest możliwość wyboru płaszczyzny oraz pozycji przekroju badanego materiału. Generując przekrój użytkownik uzyskuje obraz powierzchni przedstawiający pory znajdujące się w wybranej płaszczyźnie i pozycji przekroju. Dodatkowo model daje możliwość wyznaczenia objętości porów otwartych oraz szacowania średniej objętości porów na jednostkę powierzchni materiału. Model wraz z graficznym interfejsem użytkownika został zaimplementowany w środowisku oprogramowania pakietu Matlab.

Wykorzystując zaprojektowany model, Doktorantka przeprowadziła symulację komputerową (rozdział 5.5) Dla utworzonych modeli o różnych parametrach wejściowych obejmujących określony rozmiar modelu i liczbę porów, dobranych metodą prób i błędów w taki sposób, aby przekrój materiału, otrzymany w wyniku przecięcia trójwymiarowego modelu płaszczyzną, charakteryzował się geometrią porów analogiczną do tej uzyskanej

podczas wcześniejszej analizy obrazów rzeczywistej powierzchni biomateriału. Analiza i porównanie modelowych i empirycznych parametrów wykazały, że utworzone modele charakteryzują się przekrojami o geometrii porów analogicznej do tych uzyskanych podczas wcześniejszej analizy mikroskopowych obrazów rzeczywistej powierzchni biomateriału, pozyskanych z wykorzystaniem mikroskopu konfokalnego.

Ostatni etap badań obejmował weryfikację opracowanego modelu. Metodę modelowania Doktorantka przetestowała poprzez porównanie wyników otrzymanych z wykorzystaniem modelu z danymi eksperymentalnymi uzyskanymi w wyniku mikrotomograficznych badań biomateriału przeprowadzonych z zastosowaniem wysokorozdzielczego skanera rentgenowskiego GE Phoenix (rozdział 5.7). Otrzymane wyniki potwierdziły, że program generuje model o strukturze i geometrii porów zbliżonych do rzeczywistego biomateriału ceramicznego, co potwierdziło poprawność opracowanego modelu. Wyniki tego etapu dysertacji Doktorantka opublikowała w pracy, (rozdział 7) jest wymieniona w pozycji 147 – [Garczyk Ż., Stach S. *Three-dimensional model for assessing the pore volume of biomaterials intended for implantation*. W: Jin Z., Li J., Chen Z. (red.) *Computational Modelling of Biomechanics and Biotribology in the Musculoskeletal System*. Elsevier 2020].

Z dużym zainteresowaniem zapoznałam się pracą doktorską mgr inż. Żanety Garczyk. Doktorantka treści merytoryczne przedstawione w pracy zilustrowała: wykresami, schematami, zdjęciami, obrazami komputerowymi, wszystkie pozycje graficzne nazywając rysunkami. Bardziej precyzyjne byłoby wyraz rysunek w podpisach ilustracji zastąpić wyrazem rycina. Jest to jedyna uwaga, którą miałabym po przeczytaniu pracy. Natomiast miałabym pytanie dla Doktorantki: co wiadomo na dzień dzisiejszy, na temat zróżnicowania porów biomateriału przeznaczonego do implantacji w regeneracji różnych tkanek, oprócz możliwości zastosowania porowatej bioceramiki jako materiału kośćozastępczego.

Podsumowując, praca doktorska mgr inż. Żanety Garczyk pt. „Trójwymiarowy model jako narzędzie do wyznaczania objętości porów biomateriału przeznaczonego do implantacji ” stanowi w całości samodzielną pracę Doktorantki. Rozprawa jest napisana poprawnie w sposób logiczny prowadzi czytelnika po kolejnych etapach przeglądu literaturowego i części eksperymentalnej. Doktorantka swoją rozprawą zademonstrowała dojrzałość naukową, ostrożny krytycyzm we wnioskowaniu i ugruntowała moją opinię, że jest wysoko kwalifikowanym specjalistą w swojej dziedzinie naukowej. W mojej opinii, przedłożona Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna, rozprawa doktorska mgr inż. Żanety Garczyk spełnia ustawowe kryteria warunków określonych w art.187 ustawy z dnia 20 lipca

2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t.Dz.U.z 2020 r.poz.85.z późn.zm.) i dlatego wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do jej publicznej obrony.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę ważność podjętego tematu badań, włożoną pracę oraz potencjalne możliwości wykorzystania opracowanego przez Doktorantkę trójwymiarowego modelu jako narzędzie do wyznaczania objętości porów biomateriału przeznaczonego do spersonalizowania podejścia terapeutycznego, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Prof. dr hab. n. med. Urszula Mazurek