

Gliwice, 27.03.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana lek dent. Roberta Kowalskiego pod tytułem „*Analiza porównawcza właściwości użytkowych materiałów termoplastycznych stosowanych w wykonawstwie protez stomatologicznych*” zrealizowanej pod opieką Pani promotor prof. dr hab. n. med. Ewy Sobolewskiej oraz Pani promotor pomocniczej dr inż. Magdaleny Kwiatkowskiej opracowana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Medyczne Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie

Według opublikowanych danych w Polsce po 35 roku życia typowemu pacjentowi brakuje średnio aż jedenastu zębów. Jednocześnie 9 milionów osób stosuje protezy zębowe, przy czym 67% spośród nich to pacjenci relatywnie młodzi (od 40 do 59 lat). Mając na uwadze niemającą mimo kampanii profilaktycznych częstotliwość występowania próchnicy zębów, która związana jest głównie z niewłaściwą dbałością o higienę jamy ustnej i błędnymi nawykami żywieniowymi widocznymi już w wieku przedszkolnym, możemy założyć, że owe dramatyczne dane jeszcze przez długi czas będą utrzymywały się na zbliżonym poziomie. Zdecydowana większość pacjentów, którzy utracili zęby stałe decyduje się na zastosowanie rozwiązań protetycznych opartych o materiały polimerowe oraz kompozytowe o osnowie polimerowej. Gama tych materiałów stale się powiększa czemu sprzyja także rozwój nowoczesnych technologii przetwarzania opartych o druk 3D czy frezowanie. Obok rozwiązań najnowocześniejszych jak i tych najbardziej tradycyjnych stosowane są także nowe materiały termoplastyczne przetwarzane technologią wtrysku o bardzo korzystnych charakterystykach. Jednocześnie odczuwalnym jest niedostatek prac badawczych służących niezależnej analizie właściwości nowo opracowanych i wprowadzanych do praktyki klinicznej materiałów, które pozwalałyby w oparciu o obiektywne kryteria oszacować potencjalne korzyści płynące ze stosowania tych rozwiązań. W ten nurt wpisuje się przedstawiona do oceny dysertacja o wymiarze naukowym i praktycznym pt. „*Analiza porównawcza właściwości użytkowych materiałów termoplastycznych stosowanych w wykonawstwie protez stomatologicznych*”. Podjęty temat uważam za nader aktualny i o wysokim znaczeniu klinicznym.

Rozprawa doktorska opracowana została w klasycznej formie i liczy 125 stron. Część merytoryczną otwiera wstęp stanowiący jednocześnie przegląd piśmiennictwa (str. od 6 do 19). Następnie kolejno określono cel rozprawy wraz hipotezą badawczą, przedstawiono metodologię obejmującą charakterystykę stosowanych materiałów i technologii oraz metod badawczych (str. od 19 do 56) oraz wyniki badań własnych (str. 57-89). Merytoryczną część wieńczą dyskusja wyników (str. od 91 do 103) oraz wnioski (str. od 103 do 104). Pozostałe części stanowią streszczenia (polskie i angielskie), spisy bibliografii (118 pozycji), tabel i rycin oraz skrótów i oznaczeń. Proporcje objętościowe części literaturowej, metodycznej, wynikowej i dyskusyjnej uważam za wzorcowe. Układ w pełni spełnia wymagania redakcyjne oraz merytoryczne stawiane dysertacjom realizowanym w formie rozprawy.

Przegląd piśmiennictwa został oparty o 97 głównie anglojęzycznych pozycji literaturowych. Są one właściwie dobrane z merytorycznego punktu widzenia, aczkolwiek uważam, że udział prac opublikowanych w ostatniej dekadzie mógłby być większy. Część literaturowa jest silnie skoncentrowana na poruszanej w pracy tematyce. Autor po krótkim wprowadzeniu dotyczącym stosowania materiałów polimerowych w stomatologii omawia problematykę związaną ze strukturą, budową chemiczną i właściwościami materiałów będących bezpośrednim przedmiotem jego zainteresowania, a więc acetali oraz politeteroeteroketonu (PEEK) ze szczególnym uwzględnieniem kompozytu opartego o PEEK o nazwie handlowej BIOHPP. Szczególną uwagę zwrócono na właściwości istotne z punktu widzenia zastosowań w stomatologii. Podejście takie jest zasadne, bowiem pozwala skoncentrować się odbiorcy na najbardziej istotnych zagadnieniach pomimo, że wymaga od czytelnika posiadania stosownego zakresu wiedzy wyjściowej. Bardzo dużo uwagi poświęcono także innym możliwościom stosowania PEEK jako biomateriału zwracając uwagę na jego wady i zalety w kontekście aplikacji implantologicznych. Odniesiono się do zagadnień związanych z biokompatybilnością, możliwościami modyfikacji materiałów celem poprawy właściwości biologicznych oraz aspektów technologicznych przetwarzania. W tej części pracy doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych potknięć. Recenzentowi trudno jest przejść obojętnie obok sentencji na stronie szóstej, że „(...) w pracy opisano dwa termoplastyczne materiały-tworzywo polioksymetylenowe (Biocetal; ROKO Dental Systems, Polska) oraz nowej generacji materiał BioHPP (BioHPP; BredentGmbH, Niemcy), który jest wysokousieciowanym polimerem na

bazie PEEK (polieteroeteroketonu) zawierającym 20% mikrocząstek ceramicznych”, ponieważ w odniesieniu do materiału BioHPP jest ono błędne - materiał polimerowy nie może być jednocześnie usieciowany i termoplastyczny. Niejasnym jest określenie na stronie 13 „(...) biokompatybilność z hydroksyapatytem”, które jest zbyt daleko idącym skrótem myślowym w kontekście definicji biokompatybilności. Do potknięć językowych należy też zaliczyć pojawianie się pleonazmów (np. „najbardziej optymalne”), stosowanie terminu „odporność” bez podania czego ona dotyczy czy określenia „giętkość” bez należytego zdefiniowania. Nieścisłością jest również stosowanie określeń jednoznacznie odnoszących się do technologii wytwarzania, zamiast do technologii przetwarzania, np. na str. 18 stwierdza się, iż „(...) podjęto próby wytworzenia PEEK techniką przyrostową (...)”, co jest niewłaściwym, ponieważ oznaczało by, iż w ten sposób wytwarzano polimer PEEK (synteza/polimeryzacja), kiedy autor miał na myśli przetworzenia PEEK celem wytworzenia techniką przyrostową wyrobu tudzież próbki z uprzednio zsyntetyzowanego/spolimeryzowanego i dostarczonego materiału. Z formalnego punktu widzenia należy także Autorowi zwrócić uwagę, że w przypadku wykorzystywania grafik pochodzących np. z internetu lub folderów producentów w formie ilustracji należało wskazać ich bezpośrednie źródło. Niedopatrzaniem też jest obecność akapitów, w których nie przytoczono ani jednej pozycji literaturowej wspierającej zaprezentowaną wiedzę, np. str. 10, str. 11. Pomimo wymienionych mankamentów nielicznych na tle objętości całości przeglądu literatury uważam, że analiza dotychczasowego stanu wiedzy jednoznacznie dowodzi właściwego przygotowania teoretycznego doktoranta do prowadzenia badań naukowych w obszarze będącym przedmiotem jego zainteresowania. Wiedza zawarta w przeglądzie literatury finalnie pozwoliła na sformułowania przedstawionych w rozdziale III celu pracy, którym było „porównanie właściwości użytkowych Biocetalu i BioHPP” oraz hipotezy badawczej stanowiącej, że „BioHPP, ze względu na wzmocnienie mikrowypełniaczem ceramicznym, jest materiałem o korzystniejszych parametrach fizycznych i mechanicznych”. Cel i hipoteza pracy zostały właściwie sformułowane, cel ma przede wszystkim znaczenie utylitarne, natomiast hipoteza poznawcze i utylitarne.

W rozdziale IV metodologicznym w pierwszej kolejności przedstawiono materiały wytypowane do badań i ogólną liczbę próbek. Łącznie wykonano 130 próbek acetalowych i 90 kompozytowych, przy czym w tym miejscu należałoby wyjaśnić, dlaczego grupy różniły się liczebnością (czy też

wykonano więcej próbek acetalowych jako „zapas”?). Rodzi się też pytanie, czy w ramach prac przygotowawczych wykonywano jedynie próbki o kształcie wiosełek i stosowano je także w innych testach zamiast kształtek znormalizowanych (np. wytrzymałość na trójpunktowe zginanie, nasiąkliwość, udarność)? Kwestia ta wymagałaby komentarza. Metodologia wykonywania próbek została bardzo szczegółowo opisana, a cały proces jest bogato udokumentowany fotograficznie, co pozytywnie wpływa na odbiór tej części rozprawy. Za niepotrzebne uważam przedstawianie informacji niebędących opisem stosowanej metodologii (np. opis wtryskarek ślimakowych i ogólna charakterystyka procesu), bowiem lepszym miejscem dla tego typu informacji byłby przegląd literatury. W obecnej formie odnoszę wrażenie, że zawarte przykładowo na stronach od 23 do 27 informacje oraz schemat wtryskarki nie dotyczą parametrów stosowanych w trakcie eksperymentu, które bardzo rzetelnie przedstawiono dopiero na stronie 28. Podobnie, zaprezentowanie pryncypiów mikroskopii skaningowej i następnie innych, stosowanych metod badawczych można było wykonać w przeglądzie literatury w ramach rozdziału zatytułowanego np. podstawowe metody stosowane w badaniach polimerowych i kompozytowych materiałów protetycznych. Z drugiej strony np. w odniesieniu do badań SEM zabrakło informacji jakie stosowano konkretnie napięcia przyspieszające (choć jest informacja dotycząca ogólnego ich możliwego zakresu), a w przypadku badań nasiąkliwości brakuje informacji jak sprawdzano, czy przedstawiona procedura suszenia zapewniła odpowiednie usunięcie wilgoci przed oznaczeniem masy m_1 (zwykle zaleca się suszenie próbek z kontrolnymi pomiarami zmian masy w dwudziestoczerogodzinnych cyklach do uzyskania stabilnych wartości). Dostrzeżono także inne kwestie, które wymagałyby uściślenia, co jest wszakże zrozumiałe ze względu na bardzo dużą ilość informacji zawartych w opisie metodologii. Należy tu wymienić np. określenie odległości podpór w badaniu udarności czy podanie rodzaju/modelu zastosowanego ekstensometru w badaniu wytrzymałości na rozciąganie (skoro badano np. moduł sprężystości). Zamieszanie wprowadza określenie, że „granica plastyczności jest opisywana jako pierwsze naprężenie, przy którym wzrost wydłużenia nie powoduje wzrostu naprężenia”, bowiem jest ona wprawdzie właściwa dla tych materiałów, ale wzbudza wątpliwości czy autor badał granicę plastyczności w oparciu o ISO 527, czy umowną granicę plastyczności, jak sugeruje w innych fragmentach. Problem ten powinien być jednoznacznie rozstrzygnięty. Uważam także, że w opisie metod badawczych powinno być odwołanie do literatury bądź

stosownych norm przedmiotowych. Rozdział metodyczny wieńczę opisy przeprowadzonych badań mikrobiologicznych i zastosowanych metod statystycznych analizy danych. Chciałbym jednocześnie podkreślić, że zastosowana metodologia badawcza jest obszerna i właściwie dobrana z punktu widzenia celu i hipotezy pracy, a dostrzeżone mankamenty dotyczą głównie szczegółów kwestii technicznych.

W kolejnym rozdziale zawarto rezultaty badań. Ta część rozprawy została opracowana w przejrzysty i przyjazny dla czytelnika sposób, zawiera bogatą dokumentację w postaci fotografii i mikrofotografii oraz szereg wykresów przedstawiających różnice mierzonych właściwości oraz tabel zawierających statystyki opisowe wraz z wynikami testów statystycznych. Wykresy są starannie opracowane od strony graficznej, acz brakuje mi legend, które informowałyby, czy są na nich zaprezentowane np. wartości średnie z odchyleniami standardowymi czy mediany z rozstępami kwartylnymi. Przedstawione wyniki są interesujące poznawczo i użytkowo, a opis rezultatów szczegółowy. Liczne odniesienia do rezultatów analiz statystycznych wpływają korzystnie na jakość interpretacji. Opis wyników otwiera przedstawienie obserwacji mikroskopowych, które uwidoczniły różnice w morfologiach przełomów ze szczególnym uwzględnieniem cząstek wypełniacza materiału kompozytowego. Z formalnego punktu widzenia chciałbym jednak zwrócić uwagę, że nie ma większego sensu podawanie „przybliżenia” (powiększenia) w podpisach, które wraz z obróbką w trakcie formatowania grafik ulega zmianie, a elementem wiążącym są markery obecne na mikrofotografiach (stosunek ich rozmiarów do rozmiarów elementów morfologii widocznych na zdjęciach jest niezmienny). Chciałbym jednak zaznaczyć, że zamieszczenie wspomnianych informacji nie wpływa w żaden sposób na obniżenie jakości opisu wyników i nie niesie ze sobą nawet najmniejszych, negatywnych konsekwencji. Następnie Autor przedstawił rezultaty kompleksowych badań właściwości mechanicznych, fizykochemicznych, trybologicznych i cech powierzchni (gęstość, nasiąkliwość, zwilżalność, twardość, właściwości wytrzymałościowe zmierzone w testach rozciągania, zginania i udarność, parametry chropowatości, odporność na zużycie ściernie). Przeprowadzone analizy wskazały porównywalne lub korzystniejsze właściwości materiału kompozytowego. Szczególnie korzystnie BioHPP wypadł pod względem właściwości mechanicznych oraz konsekwencji kontaktu próbek ze środowiskiem wodnym. Wyniki te są interesujące i kompleksowo obrazują możliwości aplikacyjne obydwóch materiałów. Muszę zwrócić jednak uwagę

na pewne potknięcia głównie językowe i terminologiczne. W opisie wyników badań wytrzymałościowych w analizowanym przypadku nie powinno się stosować określenia „naprężenie/wydłużenie przy pęknięciu”, a przy zerwaniu, co prawidłowo wskazano w metodyce (określenia te nie są synonimami). Na stronie 69 stwierdzono, że parametry chropowatości w przypadku kompozytu miały większe wartości, co wszakże jest stwierdzeniem wprowadzającym zamieszanie mając na uwadze, iż przedstawione na poprzednich stronicach wyniki analiz wskazały na brak istotnych statystycznie różnic. Komentarza wymaga także ryc. 64, bowiem zastanawiam się czy równoległe linie widoczne na mikrofotografii są śladem wytarcia - jeśli tak, to czy przedstawiony przekrój i jego pole jest przekrojem uzyskanym wzdłuż czerwonego odcinka widocznego na fotografii w prawej górnej ćwiartce ilustracji? Nie przebiega on prostopadłe do śladu wytarcia, a zatem nie tworzy pola w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku względnego ruchu przeciwpróbki, jak to ma miejsce np. na ryc. 63, więc jego pole jest potencjalnie większe. Do potknięć językowych należy zakwalifikować stosowanie w podpisach pod rysunkami ilustrującymi różnice w wartościach nasiąkliwości określania „% przyrost wagi”, bowiem waga jest urządzeniem do pomiaru masy, przy czym nadmienić należy, że w tekście stosowano właściwą terminologię. Ostatnią częścią pracy prezentującą wyniki badań jest analiza liczby bakterii zaadherowanych do powierzchni próbek. W testach zastosowano cztery szczepy mikroorganizmów. W kontekście uzyskanych rezultatów uważam, że wyniki powinny być zostać nieco szerzej opracowane. Szkoda, iż nie przeprowadzono analiz statystycznych i porównań dla każdego szczepu z osobna tym bardziej, że tendencje w przypadku odmiennych mikroorganizmów były różne. Zwraca również uwagę, że wartość prawdopodobieństwa w tabeli 30 wskazuje na istnienie statystycznie istotnych różnic, natomiast przedstawiona na rys.71 już nie.

W „Dyskusji” wyników badań Doktorant w pierwszej kolejności komentuje aspekt potencjalnego wpływu technologii przetwarzania materiałów na wyniki badań własnych wskazując na potencjalne zagrożenia w tym względzie i działania podjęte celem wyeliminowania tego ryzyka. Podejście takie uważam za w pełni zasadne. Następnie Autor przechodzi płynnie do omówienia własnych wyników na tle danych literaturowych, a szczególny nacisk kładzie na rozważania o charakterze praktycznym, co jest słusznym mając na uwadze silnie kliniczną konotację prowadzonych analiz. Ta część pracy jest wyjątkowo interesująca, chociaż jako inżynier muszę

zwrócić uwagę na pewne kwestie. Pierwszym problemem jest opis współzależności różnych właściwości fizykochemicznych bez powoływania się na stosowne źródła, co bywa problematyczne szczególnie jeśli wziąć pod uwagę, iż stosowane są daleko idące uogólnienia. Przykładowo, na stronie 90 stwierdza się, że „porównując gęstość materiałów między sobą, większa gęstość BioHPP wpływa na jego mniejszą przezierność, chłonność wody, a także na większą sztywność i odporność na zmianę koloru.” Na jakiej podstawie wysunięto taką konkluzję, skoro np. nie analizowano zmiany barwy ani przezierności? Na jakiej podstawie uważa się, większa gęstość BioHPP wpływa na mniejszą chłonność wody, skoro o chłonności wody decyduje w tym przypadku głównie materiał matrycy (osnowy), którego gęstość wynosi ok. $1,31\text{g/cm}^3$, a więc jest mniejsza niż gęstość acetalu, a o większej wartości gęstości BioHPP decyduje dodatek ceramicznych wypełniaczy o dużej gęstości? Chciałbym w tym miejscu zwrócić uwagę, że PEEK ma bardzo stabilne właściwości chemiczne i fizyczne na skutek obecności pierścieni arylowych połączonych z ketonem, dzięki którym jest stabilny w wysokich temperaturach oraz wykazuje niską rozpuszczalność i sorpcję wody w porównaniu do innych materiałów protetycznych polimerowych czy na bazie polimerów. Szerszego komentarza i przedstawienia stosownych odnośników literaturowych wymagało stwierdzenie na stronie 92, że „badanie kąta zwilżania wykazało właściwości hydrofobowe obu badanych materiałów”. Obydwa materiały charakteryzowały się kątem zwilżania poniżej 90° , a zwykle za powierzchnie hydrofobowe przyjmuje się te charakteryzujące się kątem zwilżania od 90 do 180° . Zdecydowanie rzadziej w niektórych pracach przyjmuje się zakres 80 - 120° opisywany jako przeciętna hydrofobowość, a powyżej tych wartości - jako silna. Kompetentnie poprowadzono dyskusję dotyczącą zróżnicowania chropowatości materiałów z uwzględnieniem zastosowania różnych sposobów obróbki powierzchni oraz dynamicznego kąta zwilżania w kontekście chropowatości próbek. Szczególnie interesującą częścią dyskusji jest także zestawienie wyników badań mikrobiologicznych z pomiarami chropowatości, bowiem ta praca jest kolejnym rzadkim i cennym głosem wskazującym, że chropowatość choć jest cechą wpływającą na stopień kolonizacji, to jednak w przypadku odmiennych materiałów nie pozwala wnioskować o ich przyszłym stopniu skolonizowania, co przeczy utartym poglądom. Równie interesująca i owocna jest część interpretacyjna dotycząca badań właściwości mechanicznych i trybologicznych porównywanych

materiałów, wskazująca na zdecydowanie lepsze właściwości materiału kompozytowego, co ma istotne implikacje kliniczne.

Prace wieńczą wnioski, które dowodzą umiejętności powiązania wiedzy teoretycznej z rezultatami badań oraz kwalifikacji do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w pełnym zakresie. Zastrzeżenia mam jednak do wniosku nr. 3, stanowiącego, że „mikrocząstki napełniacza zapewniają dużą jednorodność struktury polimeru BioHPP, co zapewnia tak wysoką jakość końcową materiału”, który jest nieszczęśliwie sformułowany. Jednorodna struktura w zakresie rozmieszczenia cząstek nie jest przez nie zapewniona, a jest skutkiem wysokiej efektywności procesu wprowadzenia cząstek (sama obecność mikrocząstek wypełniacza niczego nie gwarantuje). Pozostałe wnioski mają znaczenie naukowe, praktyczne i konotację kliniczną.

Rozprawa została opracowana ze starannością edytorską i dbałością o stronę językową, pomimo, że recenzent znalazł (jak w każdej pracy) niedoskonałości w tym względzie. Zaliczyć do nich należy nieprzestrzeganie zasady, iż tabele lub ilustracje powinny pojawiać się po miejscu, w którym znalazło się do nich odniesienie w tekście, uchybienia językowe jak np. sentencja, że „grzyby z rodzaju *C. albicans* wykazał zdecydowanie niższą adhezję w przypadku obu materiałów, niż pozostałe szczepy bakterii” wskazująca, że grzyb to też bakteria, stosowanie terminu „waga” zamiast „masa”, dyskusyjna sentencja stanowiąca, że „odkształcenie względne przy maksymalnym naprężeniu to miara plastyczności materiału”, stosowanie określenia „sztywność” w odniesieniu do materiału, gdzie należy mówić o module sprężystości lub sprężystości, bowiem sztywność jest cechą konstrukcji (sztywność protezy, moduł sprężystości materiału na protezę). Zauważono, że na niektórych wykresach podane wartości prawdopodobieństw różnią się od tych wymienionych w tabelach, np. str. 60, 77, 89. Podkreślić jednak należy, że wskazane niedopatrzienia są stosunkowo nieliczne zważywszy na mnogość rezultatów i poruszanych zagadnień, dotyczą kwestii zwykle inżynierskich i nie umniejszają wartości merytorycznej opracowania, a w kontekście całości opracowania uważam je za nieznaczne.

Podsumowanie

Podsumowując recenzję pracy doktorskiej Pana lek. stom. Roberta Kowalskiego pod tytułem „Analiza porównawcza właściwości użytkowych materiałów termoplastycznych stosowanych w

wykonawstwie protez stomatologicznych” wykonanej pod opieką promotorską prof. dr hab. n. med. Ewy Sobolewskiej stwierdzam, że oceniam wysoko dokonania Doktoranta, który w opiniowanej pracy dowiódł swojej szerokiej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie nauki medyczne ale i interdyscyplinarnej, sformułował i finalnie rozwiązał oryginalny problem naukowy dzięki umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w oparciu o właściwie dobrany zakres metod badawczych. Uzyskane oryginalne wyniki badań zostały właściwie opracowane i zinterpretowane. Przedstawione w recenzji uwagi mają głównie charakter dyskusyjny, a nieliczne niedoskonałości są nieznaczące dla ogólnie wysokiej oceny osiągnięć naukowych Doktoranta.

W związku z powyższym stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (t.j. Dz. U. z 2020 r., poz. 85 ze zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Pana lek stom. Roberta Kowalskiego do publicznej obrony przygotowanej pracy doktorskiej. Jednocześnie mając na uwadze szeroki zakres prac badawczych, który wymagał opanowania pierwotnie obcego warsztatu badawczego celem osiągnięcia celu mieszczącego się w obszarze nauk medycznych, interdyscyplinarność rozprawy i jej istotne znaczenie kliniczne, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



dr hab. inż. Grzegorz Chladek, prof. PŚ